



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES Y VALIDACIÓN MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”

**GONZÁLEZ ESCOBAR DAVID MESÍAS
QUINATOYA CAYAMBE FREDY GERMÁN**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-04-12

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DAVID MESÍAS GONZÁLEZ ESCOBAR

Titulada:

**“ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE
BIODIGESTORES Y VALIDACIÓN MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y
PRUEBAS DE UN PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE TÉRMICAS
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodolfo Santillán Heredia
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Paredes Murillo
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-04-12

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

FREDY GERMÁN QUINATO CA YAMBE

Titulada:

**“ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE
BIODIGESTORES Y VALIDACIÓN MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y
PRUEBAS DE UN PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE TÉRMICAS
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodolfo Santillán Heredia
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Paredes Murillo
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DAVID MESÍAS GONZÁLEZ ESCOBAR

TÍTULO DE LA TESIS: “ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES Y VALIDACIÓN MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2013-12-04

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno Romero PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Rodolfo Santillán Heredia DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Paredes Murillo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Telmo Moreno Romero
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FREDY GERMÁN QUINATO A CAYAMBE

TÍTULO DE LA TESIS: “ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES Y VALIDACIÓN MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN PROTOTIPO PARA EL LABORATORIO DE TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2013-12-04

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno Romero PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Rodolfo Santillán Heredia DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Paredes Murillo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Telmo Moreno Romero
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

David Mesías González Escobar

Fredy Germán Quinatoa Cayambe

DEDICATORIA

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca retribuir todo lo recibido. Con todo mi cariño este trabajo de tesis va dedicado a mi Madre Sra. Angélica Escobar que con su sacrificio y amor supo formar a sus hijos.

A mis hermanos: Manuel, Darío, Ma. Isabel, Carina y Juanito, por su cariño y afecto.

David González Escobar

A ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Marco Quinatoa y Ermelinda Cayambe.

A mis hermanas: Rosa, Marisol y Alexandra, por su cariño y afecto.

Fredy Quinatoa Cayambe

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

David González Escobar

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Fredy Quinatoa Cayambe

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	1
1.2.2 <i>Justificación económica</i>	2
1.2.3 <i>Justificación social</i>	2
1.2.4 <i>Justificación ambiental</i>	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	
2.1 Disponibilidad de biomasa.....	4
2.2 Factores considerados en el diseño.....	4
2.2.1 <i>Temperatura de la biomasa y medio ambiente</i>	4
2.2.2 <i>Inclusión de inoculantes</i>	4
2.2.3 <i>Tiempo de retención hidráulica</i>	5
2.2.4 <i>Nivel de acidez (pH)</i>	5
2.2.5 <i>Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)</i>	6
2.2.6 <i>Agitación y mezclado</i>	6
2.3 Dimensionamiento del prototipo.....	7
2.3.1 <i>Cámara de fermentación</i>	7
2.3.2 <i>Sistema de alimentación</i>	7
2.3.3 <i>Sistema de descarga</i>	8
2.3.4 <i>Cámara de acumulación</i>	8
2.4 Sistema de agitación.....	8
2.4.1 <i>Dimensionamiento del agitador</i>	8
2.4.2 <i>Dimensionamiento de la hélice</i>	9
2.5 Balance energético.....	11
2.5.1 <i>Calor ganado por la alimentación</i>	11
2.5.2 <i>Calor perdido por la salida</i>	11
2.5.3 <i>Pérdidas por las paredes</i>	12
2.5.4 <i>Pérdidas por el piso</i>	13
2.5.5 <i>Pérdidas por el techo</i>	14
2.5.6 <i>Calor generado en el interior del digestor</i>	15
2.5.7 <i>Calor requerido y potencia calorífica necesaria</i>	16
2.5.8 <i>Intercambiador de calor</i>	16
2.5.9 <i>Cantidad de agua</i>	16
2.5.10 <i>Número de pasos y tubos</i>	17
2.6 Accesorios.....	22
2.7 Válvula de seguridad.....	23
2.8 Filtro de H ₂ S.....	24
2.9 Sistema de calefacción.....	24
2.10 Medidor de gas.....	24
2.11 Sistema de control automático.....	24
2.11.1 <i>Diagramas de potencia y control</i>	25
2.12 Sistema de agitación.....	27
2.13 Cámara de fermentación.....	27
2.14 Membrana termoflexible.....	27
2.15 Tubería de conducción de biogás.....	27

2.16	Reservorio de agua caliente.....	27
3.	ELABORACIÓN DEL SOFTWARE	
3.1	Desarrollo de la base de datos.....	29
3.2	Inicio del programa.....	30
3.2.1	<i>Pantalla principal</i>	30
3.3	Ingreso de la información.....	33
3.3.1	<i>Cantidad de biomasa disponible</i>	34
3.4	Diseño del digestor.....	38
3.4.1	<i>Volumen requerido para el digestor</i>	40
3.5	Diseño de piletas de carga y descarga.....	43
3.5.1	<i>Pileta de carga</i>	43
3.5.2	<i>Pileta de descarga</i>	44
3.5.3	<i>Costos del digestor</i>	46
4.	EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	
4.1	Plan de pruebas.....	47
4.2	Pruebas y resultados.....	47
4.2.1	<i>Prueba de estanqueidad</i>	47
4.2.2	<i>Prueba de hermeticidad</i>	48
4.2.3	<i>Prueba de verificación del correcto funcionamiento del sistema de control automático</i>	49
4.2.4	<i>Primera carga con mezcla de excretas bovinas y agua sin añadir inóculo</i>	50
4.2.5	<i>Carga de estiércol bovino con adición de inóculo</i>	51
4.2.6	<i>Suspensión del sistema de agitación y calefacción</i>	51
5.	DESARROLLO DEL MANUAL DEL PROTOTIPO	
5.1	Factores que influyen en la operación.....	53
5.2	Cronograma de operación.....	54
5.3	Seguimiento de operación.....	54
5.4	Plan de mantenimiento.....	56
6.	ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN	
6.1	Costos directos.....	58
6.1.1	<i>Costos de materiales</i>	58
6.1.2	<i>Costos de mano de obra</i>	59
6.1.3	<i>Costos de equipos y herramientas</i>	60
6.1.4	<i>Costos por transporte de materiales</i>	60
6.1.5	<i>Costo total directo</i>	60
6.2	<i>Costos indirectos</i>	60
6.3	<i>Costo total</i>	61
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones.....	62
7.2	Recomendaciones.....	63

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Características de la biomasa.....	4
2	Velocidades específicas de las hélices.....	9
3	Características de los distintos tipos de biomasa.....	32
4	Características distintos tipos de materia orgánica.....	33
5	Temperatura de trabajo de los microorganismos anaeróbicos.....	39
6	Producción de biogás en relación con el tiempo de retención.....	39
7	Factores de dimensionamiento.....	40
8	Registro de medición.....	48
9	Verificación de funcionamiento.....	49
10	Funcionamiento del sistema de control automático.....	50
11	Posibles causas y soluciones.....	55
12	Costos de materiales.....	58
13	Costos de mano de obra.....	59
14	Costos de equipos y herramientas.....	60
15	Costo total directo.....	60
16	Costos indirectos.....	61
17	Total costos indirectos.....	61
18	Costo total del prototipo.....	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Crecimiento bacteriano dentro del digestor.....	5
2 Tiempo de retención en función de la temperatura.....	6
3 Dimensiones principales para el diseño de la hélice.....	10
4 Balance de energía a través de la pared.....	12
5 Balance de energía a través del piso.....	13
6 Balance de energía a través del techo.....	15
7 Dimensiones y pesos del tubo de acero.....	18
8 Intercambiador de calor de coraza y tubos.....	20
9 Factor de corrección.....	21
10 Medidor de gas.....	24
11 Caja de control.....	25
12 Diagrama de potencia.....	25
13 Diagrama de control.....	26
14 Diagrama de conexión.....	26
15 Prototipo de biodigestor de flujo continuo para laboratorio.....	28
16 Interfaz del programa.....	30
17 Ingreso de datos especies animales.....	31
18 Ingreso de datos del proyecto.....	34
19 Ingreso de número de animales y tiempo de estabulación.....	34
20 Ingreso de datos desechos vegetales.....	35
21 Masa total disponible.....	37
22 Datos Grabados.....	38
23 Dimensionamiento del digestor.....	38
24 Volumen del digestor.....	39
25 Dimensionamiento de la pileta.....	40
26 Mensaje de error.....	42
27 Ayuda.....	43
28 Dimensionamiento de la pileta de carga.....	43
29 Dimensionamiento de la pileta de descarga.....	44
30 Tiempo de permanencia del biol en la pileta.....	45
31 Notificación final.....	46
32 Cotización aproximada.....	46

SIMBOLOGÍA

TRH	Tiempo de retención hidráulica	días
pH	Potencial hidrógeno	Adimensional
VR	volumen requerido	m ³
T	Temperatura	°C
MD _m	Biomasa disponible	kg/día
N _d	Velocidad disponible	RPM
p	Número de polos	Adimensional
f	Frecuencia	Hz
N _r	Velocidad del motor a plena carga	RPM
η _m	Eficiencia mecánica del motor	Adimensional
K _u	Coeficiente de velocidad tangencial	Adimensional
D _e	Diámetro exterior	m
H _a	Nivel de altura de la mezcla	m
D _i	Diámetro interior	m
N _s	Velocidad específica	RPM
Q _i	Calor de alimentación	W
c _p	Calor específico mezcla	W.s/kg.°C
T _a	Temperatura ambiente	°C
Q _o	Calor de salida	W
m _o	Flujo másico de salida	kg/s
T _s	Temperatura de salida	°C
Q _p	Calor perdido por las paredes	W
U	Coeficiente global de transferencia de calor	W/m ² °C
h _b	Coeficiente convectivo de la mezcla biomasa	W/m ² °C
h _e	Coeficiente convectivo del ambiente	W/m ² °C
e ₁	Espesor del Poliestireno	m
e ₂	Espesor del vidrio	m

k_2	Coeficiente de conducción del vidrio	W/m°C
k_1	Coeficiente de conducción del Poliestireno	W/m°C
Q_{ps}	Calor perdido por el piso	W
A_0	Área de transferencia de calor	m ²
ΔT	Variación de temperatura	°C
e_3	Espesor del concreto	m
k_3	Coeficiente de conducción del concreto	W/m°C
Q_t	Calor perdido por el techo	W
Q_b	Calor generado en el biodigestor	W
m_g	Flujo másico en el biodigestor	kg/s
m_i	Flujo másico en la alimentación	kg/s
e_4	Espesor de la membrana de poliuretano	m
k_4	Coeficiente de conducción de la membrana de poliuretano	W/m°C
h_{bs}	Coeficiente convectivo biogás	W/m ² °C
Q_{req}	Calor requerido	W
Q_{REQ}	Potencial calorífico necesario	W
m_{agua}	Flujo másico de agua	kg/s
$m_{agua'}$	Flujo másico de agua por tubo	kg/s
μ	Viscosidad	N.s/m ²
Nu_D	Número de unidades de transferencia de calor	Adimensional
Re	Número de Reynolds	Adimensional
h_i	Coeficiente de película	W/m ² °C
h_o	Coeficiente de transferencia de calor	W/m ² °C
MD_e	Masa disponible de estiércol por día	kg/día
NA	Número de animales	Adimensional
WA	Peso promedio de animales	Kg
HE	Horas de estabulación	horas
MD_{dg}	Masa disponible de desechos orgánicos por día	kg/día
C_{dg}	Cantidad de desechos orgánicos	kg

HR	Horas de recolección desechos	horas
MD'_e	Masa de la mezcla por día	kg/día
MD'_{dg}	Masa disponible de la mezcla de desechos por día	kg/día
M_{H_2O}	Masa disponible de agua por día	kg/día
R_{AE}	Relación agua – estiércol	Adimensional
R_{AD}	Relación agua – desechos	Adimensional
ρ	Densidad	kg/m ³
MD_{el}	Volumen de la masa de estiércol	m ³
MD_{gl}	Volumen de la masa de agua	m ³
M_{TA}	Volumen de mezcla agua – estiércol	m ³
M_{TD}	Volumen de mezcla agua – desechos	m ³
M_{DT}	Volumen de masa disponible total por día	m ³ /día
A	Ancho máximo	m
H	Altura	m
f_A	Factor cálculo ancho	Adimensional
L2	Longitud máxima	m
f_{L2}	Factor cálculo longitud	m
a	Ancho base	m
f_R	Factor cálculo ángulo	Adimensional
A1	Área base	m ²
A2	Área máxima	m ²
$F_{Dg}FD$	Volumen del digestor tipo laguna	m ³
V_{PM}	Volumen de la pileta de mezcla	m ³
al	Altura de la pileta	m
lg	Largo de la pileta	m
Am	Área base pileta	m ²
V_{Pd}	Volumen de la pileta de descarga	m ³
A_A	Área de la base de la pileta de descarga	m ²

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	American Society for Testing and Materials
GLP	Gas Licuado de Petróleo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
SI	Sistema Internacional
UVA	Unidad Bovina Adulta

LISTA DE ANEXOS

- A** Rangos de operación de la población bacteriana
- B** Determinación de la masa seca
- C** Especificaciones de la membrana Aqflex
- D** Especificaciones técnicas del motor
- E** Bitácora de carga diaria
- F** Guía de usuario del equipo
- G** Manual de software
- H** Fotos prototipo

RESUMEN

Se elaboró un “software” para diseño de biodigestores mediante la construcción y pruebas de un prototipo para el Laboratorio de Térmicas de la Facultad de Mecánica – ESPOCH, con la finalidad de facilitar la implementación de biodigestores, y ayudar en la investigación para la optimización de la producción de biogás; con este fin se construyó un prototipo de biodigestor de alta eficiencia y flujo continuo, que incluyó: diseño del agitador, intercambiador de calor y sistema de control automático.

Se empleó exclusivamente excretas bovinas por ser la biomasa más equilibrada, la temperatura de trabajo fue de 35°C, apropiada para el crecimiento y desarrollo de las bacterias mesofílicas, con esto se obtuvo un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 21 días y un volumen de la cámara de fermentación de 0.16 m³.

Las pruebas realizadas en el prototipo fueron: prueba de estanqueidad, hermeticidad, verificación del correcto funcionamiento del sistema de control automático, primera carga con mezcla de excretas bovinas y agua sin adición de inoculantes, carga de estiércol con adición de inoculantes, suspensión del sistema de agitación y calefacción.

Se elaboró el “software” en el cual se puede ingresar datos de varios tipos de biomasa ya sean estos excretas animales y/o desechos vegetales; el programa calcula la cantidad de biomasa disponible según el peso y cantidad de animales, dimensiona la cámara fermentación, pileta de carga y descarga, además el “software” presenta un presupuesto aproximado del valor de la inversión.

Luego de realizar las pruebas se concluye que: el control de temperatura y agitación, acelera la degradación de la biomasa, disminuyendo el tiempo de retención por ende el volumen del biodigestor.

ABSTRACT

It was elaborated a “software” for design of bio digesters by means of the construction and proofs of a prototype for the Thermic Laboratory belonging to the Faculty of Mechanic – Higher School Polytechnic of Chimborazo, with the aim to ease the implementation of bio digesters and help in the investigation for the optimizing of biogas: with this finality was built a high efficient and continuous flow bio digester, that included: rotator design, heat interchanger, and the automatic control system.

It was employed exclusively cattle excrement since is the most equilibrated biomass, the temperature of work was 35°C, appropriated for the growing and development of mesophilic bacteria, with this was obtained a hydraulic retention time (HRT) of 21 days and a volume of the fermenting camera of 0,16 cubic meters.

The tested proofs in the prototype were: stagnation proof, airtightness proof, correct functioning verification of the automatic control system, first charge with bovine excrement and water without addition of inoculants, excrement charge with addition of inoculants, suspension of the rotation and heating system.

It was elaborated the “software” in which can input data with some types of biomass such as animal excrement and/or vegetable litter, the program calculates the quantity of available biomass according to the weight and quantity of animals, sizes the fermenting camera, pile of charge and discharge. Furthermore, the “software” presents an approximated budget of the value of investment.

Afterwards making the proofs is concluded that the control of heating and rotation accelerates the degrading of biomass by decreasing the time of retention and thus the volume of the bio digester.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El aumento del consumo de energía para las distintas actividades domésticas e industriales es ocasionado por el crecimiento de la población, ha hecho que la principal fuente de energía como: los combustibles fósiles, sean insuficientes para satisfacer las necesidades energéticas.

Tomando en cuenta que estos recursos son no renovables, su extracción y transporte pueden ocasionar graves daños al ambiente y a las comunidades aledañas.

Se ha tratado de solucionar esta problemática, buscando fuentes de energía alternativas que además sean renovables. Una de estas es la biomasa y su aprovechamiento a través de biodigestores.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica. Con el desarrollo del software para el diseño de biodigestores, se facilitará la implementación de los mismos contribuyendo así para que las energías renovables tengan una mayor participación en la satisfacción de las necesidades energéticas del país.

Con la construcción del prototipo, se ayudará en la investigación para la optimización en la producción de biogás en biodigestores industriales de flujo continuo.

Como la energía es un factor fundamental para el desarrollo económico, pero los modelos energéticos se basan normalmente en recursos "no renovables". Además de fuentes de energía de seres humanos y de animales de trabajo, hay muchas clases de energía renovable por ejemplo: energía hidráulica, energía eólica, radiación solar o biomasa.

De las diferentes tecnologías no tradicionales de generación de energía se ha seleccionado la digestión anaeróbica a través del uso de un prototipo de biodigestor, la cual creará las herramientas necesarias para el fortalecimiento de este tipo de tecnologías.

1.2.2 Justificación económica. Con la construcción del prototipo, se aportará con una solución sobre la optimización del diseño y planificación de biodigestores, evitando así sobredimensionamientos y gastos innecesarios.

Con las pruebas que se realizarán en el prototipo se obtendrán las condiciones adecuadas de temperatura y agitación, para la proliferación y crecimiento de la población bacteriana, la misma que ayudará a obtener la mejor producción del biogás.

1.2.3 Justificación Social. Tanto el prototipo como el software será una herramienta de enseñanza e investigación, de mucha utilidad para técnicos o profesionales dedicados a la implementación de biodigestores para contribuir con el cambio de la matriz energética.

1.2.4 Justificación Ambiental. Los desechos orgánicos en especial los residuos fecales son una fuente de contaminación del suelo y el agua, si no se tratan antes de ser liberados al ambiente. El uso de biodigestores ayuda a reducir el impacto ambiental, ya que por naturaleza la materia prima que se utiliza son los desechos orgánicos.

Después de ser procesados anaeróbicamente los desechos salen del digestor con una carga bacteriana muy reducida que incluso llega hasta cero dependiendo del diseño y operación del digestor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Elaborar un software para diseño de biodigestores y validar mediante la construcción y pruebas de un prototipo para el laboratorio de térmicas de la Facultad de Mecánica - ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Diseñar un prototipo de biodigestor de flujo continuo y alta eficiencia para laboratorio.

Elaborar el software para diseño de biodigestores de flujo continuo.

Construir el prototipo.

Realizar las pruebas en el prototipo.

Desarrollar el manual de operación del prototipo

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El diseño del prototipo así como para el desarrollo del software se direccionará el estudio a los biodigestores de alta eficiencia de flujo continuo.

2.1 Disponibilidad de biomasa

Para el diseño se considera exclusivamente excretas bovinas ya que es la biomasa más equilibrada y de mayor existencia en el sector rural.

Tabla 1. Características de la Biomasa

Producción del biogás a partir del peso y características de la biomasa			
	Excretas Húmedas Días (kg/animal)	Producción de Biogás (m ³ /día)	Relación Excretas-Agua
Vaca	10	0.360	1:1
Toro	15	0.580	1:1

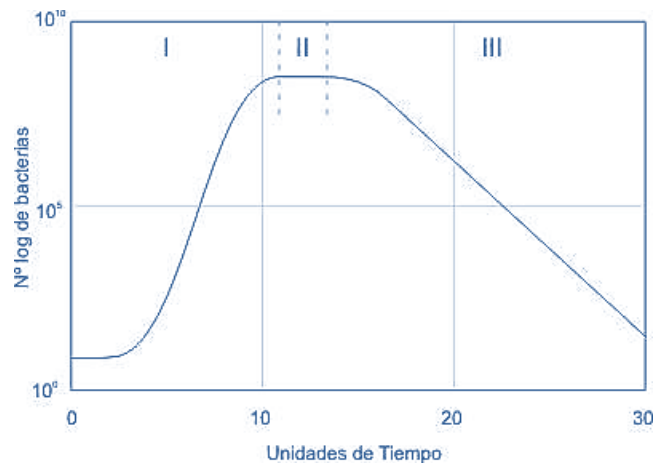
Fuente: GUARDADO José, Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. p.23.

2.2 Factores considerados en el diseño

2.2.1 Temperatura de la biomasa y medio ambiente. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4°C a 68°C. Para la digestión y sabiendo que los biodigestores operan dentro de los límites de la temperatura mesofílica, se utilizará la temperatura de 35°C la cual influye en el crecimiento de la población bacteriana responsable de la producción de biogás. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2003) (ver Anexo A)

2.2.2 Inclusión de inoculantes. En la etapa inicial para acortar el TRH, se cargará con un determinado porcentaje de cepas de biol de un digestor rico en bacterias (San Francisco-Latacunga), el cual se encuentra en pleno funcionamiento. (ICE, 2009)

Figura 1. Crecimiento bacteriano dentro del digestor



Fuente: HILBERT Jorge, Manual para la producción de biogás. p.16.

2.2.3 Tiempo de retención hidráulica (TRH). El TRH está determinado por el tiempo de generación de las bacterias, este es el tiempo que necesitan los microorganismos para reproducirse y descomponer la biomasa, considerando los dos factores siguientes como: el tipo de sustrato y la temperatura. (TÉLLEZ, 2008)

Para el digestor se seleccionará la temperatura de las bacterias mesofílicas, para acelerar la reproducción bacteriana, que determina el tiempo en que empezará la degradación de la mezcla.

Aplicando la siguiente ecuación se determina el TRH:

$$TRH = (-52.227 \times \ln(T^{\circ}C) + 206.72) \quad (1)$$

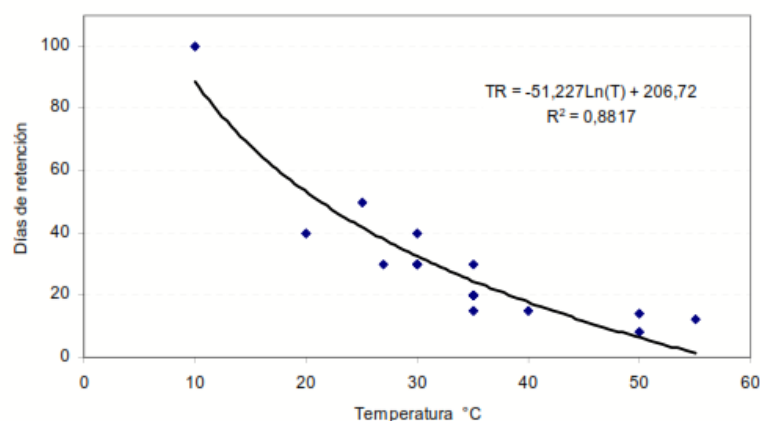
Dónde:

TRH: Tiempo de retención Hidráulica (días).

T°C : (T = 35°, valor óptimo para cualquier diseño).

2.2.4 Nivel de acidez (pH). Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones en acidez/alcalinidad (pH) de la mezcla del digestor. Para que el valor del pH de la mezcla sea el más adecuado y que se encuentre dentro del rango de 6.8 a 7.5 se lo controlará adicionando cal. El valor de pH puede ser determinado con bastante precisión con el papel de litmus. (SILVA, 2002)

Figura 2. Tiempo de retención en función de la temperatura



Fuente: AENE, Consultoría S.A. p.19

$$TRH = (-52.227 \times \ln(35^{\circ}C) + 206.72)$$

$$TRH = 21 \text{ días}$$

2.2.5 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N). La relación entre la cantidad de C/N se encuentra entre 20:1 y 30:1. (GUEVARA, 2008)

La biomasa vacuna es rica en nitrógeno, con una relación de 25:1 por lo tanto durante la fermentación tiene un menor tiempo de biodegradación lo que hace que la degradación de la biomasa y generación del biogás sea más rápida.

2.2.6 Agitación y mezclado. Con el objetivo de distribuir de mejor forma los microorganismos, es esencial una agitación periódica de la mezcla en digestión. (ICE, 2009)

Los objetivos buscados con la agitación:

- Remoción de metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas.
- Mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana.
- Evitar la formación de costras al interior de la cámara de degradación.
- Uniformar la densidad bacteriana.
- Evitar la formación de espacios muertos sin actividad biológica.

2.3 Dimensionamiento del prototipo

2.3.1 Cámara de fermentación. Al construir el biodigestor para un laboratorio se debe tomar en cuenta la disponibilidad de la biomasa para el estudio y la temperatura de 35°C, la carga de materia orgánica se la realiza todos los días, ya que se dispondrá de la biomasa necesaria mediante la recolección cada fin de semana, debido a que el transporte es muy costoso y los olores (estiércol) son fuertes.

Al disponer de una cantidad de alrededor de 20 kg excretas por semana, se puede utilizar aproximadamente 3.2 kg /día el cual contiene una cantidad del 20% de masa seca, la que se obtuvo mediante las pruebas respectivas y considerando el TRH ya determinad por medio de la temperatura optima de trabajo. (ver Anexo B)

Primero se equilibra el contenido de masa seca al 10%, para esto se adiciona agua en proporción 1:1 a la materia orgánica. Obteniendo ahora 6.4 kg/día de mezcla.

El volumen requerido se determina con la siguiente ecuación:

$$VR = MD_m \times TRH \quad (2)$$

Dónde:

VR: Volumen requerido (m³).

MD_m: Biomasa disponible (kg/día).

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días).

$$VR = \left(6.4 \frac{kg}{día} \right) \times 21 días = 134.4 kg biomasa \frac{1m^3 biomasa}{800kg biomasa}$$

$$VR = 0.16 m^3$$

2.3.2 Sistema de alimentación. De acuerdo a la mezcla diaria de 6.4 $\frac{kg}{día}$, se deberá utilizar un depósito de similar capacidad, el cual se encuentra en comunicación con la cámara de fermentación en el fondo, esto es porque al realizar la primera carga la mezcla debe cubrir ambos sistemas tanto de carga como de descarga con el fin de evitar el ingreso de aire al interior de la cámara de acumulación del biogás, lo cual es desfavorable.

2.3.3 Sistema de descarga. Es de igual equivalencia al de la mezcla de ingreso, debido a que el proceso de carga y chequeo del sistema es diariamente, la remoción del biol se hará diariamente, ya que el desplazamiento en la salida es igual a la que ingresa, solo que con un tiempo más prolongado de salida debido al desplazamiento.

2.3.4 Cámara de acumulación. Se utilizará la membrana AQflex por facilidad de montaje ya que se emplea para diseños de volúmenes considerables, tiene una elevada resistencia y soporta los cambios bruscos de temperatura que varían de 40°C a los 150°C y la exposición prolongada al ozono, con insignificantes o nulos signos de envejecimiento. También es estable a los rayos UV, incluso bajo una exposición al sol su vida ante la intemperie es de más de 30 años. (AQUALIMPIA ENGINEERING, 2012)

Las membranas de caucho de 1.1mm de espesor pesan menos de 1.40 kg/m², su resistencia ante la rotura y al desgarre, su capacidad de elongación de hasta 400%, permitiéndole un fácil acoplamiento a los movimientos por las presiones y acumulación de biogás. (ver Anexo C)

2.4 Sistema de agitación

Empleará un sistema de agitación de hélice adecuada para trabajar con flujos axiales, que operan a elevadas velocidades se emplean en líquidos poco viscosos, casi sin ninguna restricción en cuanto al tamaño y la forma del recipiente.

2.4.1 Dimensionamiento del agitador. Para el diseño se selecciona el motor con el cual se procederá al cálculo. Aplicando la siguiente ecuación: (PÉREZ, 2007)

$$N_d = \frac{120 \times f}{p} \quad (3)$$

Dónde:

N_d: Velocidad disponible (RPM).

p: Número de polos.

f: Frecuencia (Hz).

$$N_d = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{ RPM}$$

Luego se determina la velocidad requerida.

$$N_r = N_d \times \eta_m \quad (4)$$

Dónde:

N_r : Velocidad del motor a plena carga (RPM).

η_m : Eficiencia mecánica del motor (96%).

$$N_r = 1200 \times 0,96$$

$$N_r = \mathbf{1150 \text{ RPM}}$$

Especificaciones del motor (ver Anexo D).

2.4.2 Dimensionamiento de la hélice. Se aplica el método F. siervo y F. Leva.

Tabla 2. Velocidades específicas de las hélices

Velocidad específica (N_s)	Tipo de turbina
De 5 a 30	Pelton con inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rápida
De 300 a 500	Francis dobles gemela rápida o express
Más de 500	Kaplan o hélice

Fuente: www.eia.edu.co/sitios/webalumnos/SeleccionTurbinas/turbinas/criterio.htm

$$K_u = 0.79 + 1.61 \times 10^{-3} \times N_s \quad (5)$$

Dónde:

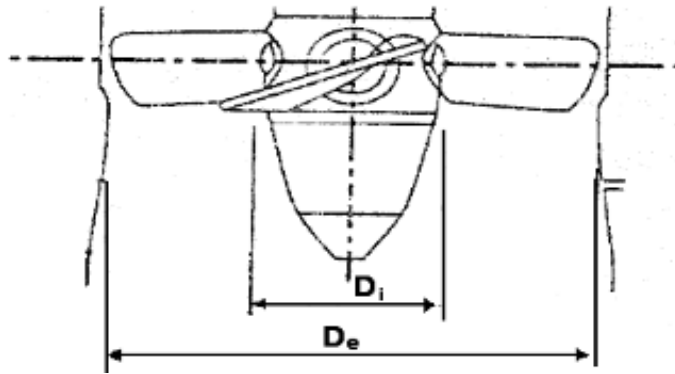
N_s : Velocidad específica (RPM), depende del tipo de hélice a diseñar.

K_u : Coeficiente de velocidad tangencial.

$$K_u = 0.79 + 1.61 \times 10^{-3} \times 800$$

$$K_u = \mathbf{2,07}$$

Figura 3. Dimensiones principales para el diseño de la hélice



Fuente: PÉREZ, P. Grupo Generación kaplan tubular. p. 34

a) Diámetro externo (D_e)

$$D_e = \frac{84.5 \times K_u \times \sqrt{H_a}}{N_r} \quad (6)$$

Dónde:

D_e : Diámetro exterior (m)

K_u : Coeficiente de velocidad tangencial.

H_a : Nivel de altura de la mezcla (m). De la altura total del digestor H se considera menos 15% de la altura, debido a que no se llena completamente hasta el borde.

$$D_e = \frac{84.5 \times 2.15 \times \sqrt{0.36}}{1150}$$

$$D_e = 0.09 \text{ m}$$

b) Diámetro interno (D_i)

$$D_i = \left(0.25 + \frac{94.64}{N_s} \right) \times D_e \quad (7)$$

Dónde:

D_i : Diámetro interior (m)

D_e : Diámetro exterior (m)

N_s : Velocidad específica (RPM)

$$D_i = \left(0.25 + \frac{94.64}{800}\right) \times 0.09$$

$$D_i = 0.03m$$

2.5 Balance Energético

2.5.1 Calor ganado por la alimentación.

$$Q_i = m_i \times c_p \times T_a \quad (8)$$

Dónde:

Q_i : Calor de alimentación (W).

m_i : Flujo másico en la alimentación (kg/s). Es el tiempo en el cual la mezcla se demora en ingresar hacia el interior del digestor, el tiempo de ingreso de la mezcla hacia el interior de la cámara de fermentación es 12min.

c_p : Calor específico mezcla ($4.186 \times 1000 \frac{W*s}{kg*^{\circ}C}$) a $12^{\circ}C$. (Incropera)

T_a : Temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

$$Q_i = 0,0071 \frac{kg}{s} \times 4.186 \times 1000 \frac{W * s}{kg * ^{\circ}C} \times 12^{\circ}C$$

$$Q_i = 357,20 W$$

2.5.2 Calor perdido por la salida.

$$Q_o = m_o \times c_p \times T_s \quad (9)$$

Dónde:

Q_o : Calor de salida (W).

m_o : Flujo másico en salida (kg/s). Es de igual equivalencia que la masa de carga con la diferencia que el tiempo de salida es de 24h, es el tiempo que se demora en salir de cámara de fermentación.

c_p : Calor específico mezcla ($4.174 \times 1000 \frac{W*s}{kg*^{\circ}C}$) a $35^{\circ}C$. (Incropera)

T_s : Temperatura de salida ($^{\circ}C$).

$$Q_o = 0,002963 \frac{kg}{s} \times 4.174 \times 1000 \frac{W * s}{kg * ^\circ C} \times 36^\circ C$$

$$Q_o = 445,23 W$$

2.5.3 Pérdidas por las paredes.

$$Q_p = U \times A \times \Delta T \quad (10)$$

Dónde:

Q_p : Calor perdido por las paredes (W).

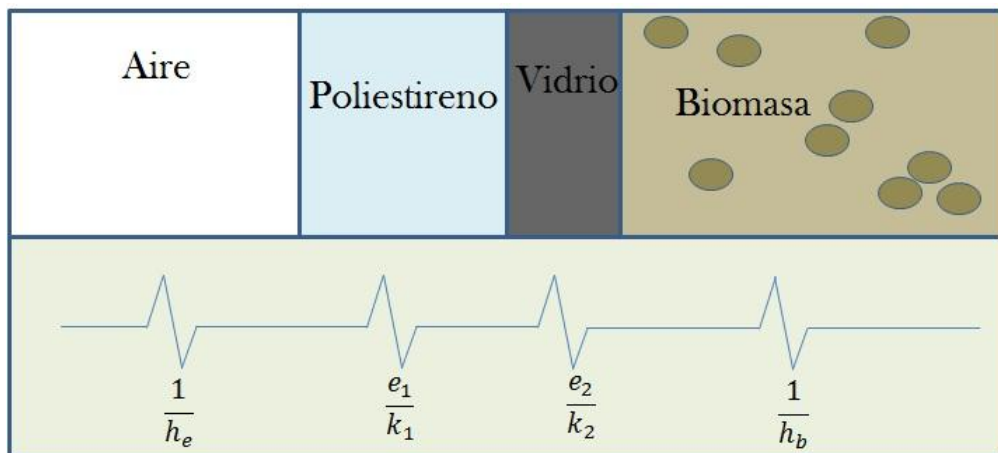
U: Coeficiente global de transferencia ($W/m.^2^\circ C$).

A_0 : área de transferencia de calor m^2

ΔT : Variación de temperatura ($^\circ C$)

De la figura 4, se determina lo siguiente:

Figura 4. Balance de energía a través de la pared



Fuente: Autores

h_b : Coeficiente convectivo de la mezcla biomas ($350 \frac{W}{m^2^\circ C}$)

h_e : Coeficiente convectivo del ambiente ($1.37 \frac{W}{m^2^\circ C}$)

e_1 : Espesor del poliestireno (0.02 m)

e_2 : Espesor del vidrio (0.01 m)

k_2 : Coeficiente de conducción vidrio ($1 \frac{W}{m^\circ C}$)

k_1 : Coeficiente de conducción poliestireno ($0.045 \frac{W}{m^\circ C}$)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_a} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_b} \quad (11)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{300} + \frac{0.02}{0.045} + \frac{0.01}{1} + \frac{1}{1.37} = 1.187$$

$$U = 0.84 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$Q_p = 0.842 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times (0.5 \times 0.4) m^2 \times (35 - 12) ^\circ\text{C}$$

$$Q_p = 3.87 W$$

2.5.4 Pérdidas por el piso.

$$Q_{ps} = U \times A \times \Delta T \quad (12)$$

Dónde:

Q_{ps} : Calor perdido por el piso (W).

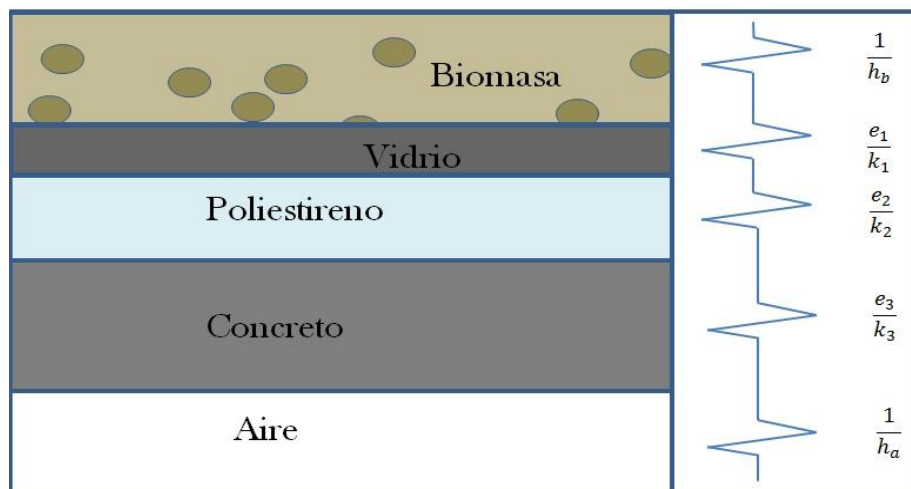
U: Coeficiente global de transferencia ($W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

A: área de transferencia de calor (m^2)

ΔT : Variación de temperatura ($^\circ\text{C}$)

De la figura 5, se determina lo siguiente:

Figura 5. Balance de energía a través del piso



Fuente: Autores

h_b : Coeficiente convectivo de la mezcla biomasa ($350 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

h_e : Coeficiente convectivo del ambiente ($1.37 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

e_2 : Espesor de la espuma Flex (0.02 m)

e_1 : Espesor del vidrio (0.010 m)

e_3 : Espesor del concreto (0.08 m)

k_1 : Coeficiente de conducción vidrio ($1 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

k_2 : Coeficiente de conducción espuma Flex ($0.045 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

k_3 : Coeficiente de conducción concreto ($0.692 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_a} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_b} \quad (13)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{350} + \frac{0.02}{0.045} + \frac{0.006}{1} + \frac{0.08}{0.692} + \frac{1}{1.37} = 1.30$$

$$U = 0.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$Q_{ps} = 0.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times (0.5 \times 0.8) m^2 \times (35 - 12) ^\circ C$$

$$Q_{ps} = 7.06 W$$

2.5.5 Pérdidas por el techo.

$$Q_t = U \times A \times \Delta T \quad (14)$$

Dónde:

Q_t : Calor perdido por el techo (W).

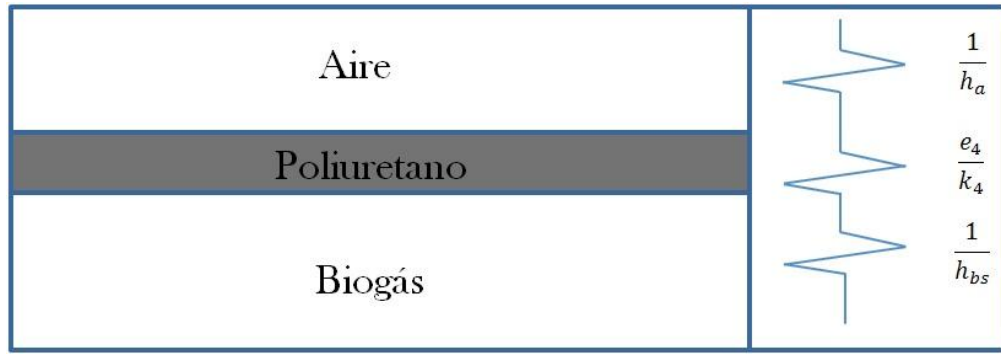
U : Coeficiente global de transferencia ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

A : área de transferencia de calor (m^2)

ΔT : Variación de temperatura ($^\circ C$)

De la figura 6, se determina lo siguiente:

Figura 6. Balance de energía a través del techo



Fuente: Autores

h_{bs} : Coeficiente convectivo biogás ($9.36 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

h_e : Coeficiente convectivo del ambiente ($1.37 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

e_4 : Espesor de la membrana de poliuretano (0.002 m)

k_4 : Coeficiente de conducción de la membrana de poliuretano ($0.024 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_a} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{1}{h_{bs}} \quad (15)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{9.36} + \frac{0.0012}{0.024} + \frac{1}{1.37} = 0.8867$$

$$U = 1.12 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$Q_t = 1.12 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times (0.5 \times 0.8) m^2 \times (35 - 12) ^\circ C$$

$$Q_t = 10.37 W$$

2.5.6 Calor generado en el interior del digestor.

$$Q_b = m_g \times c_p \times T_i \quad (16)$$

Dónde:

Q_b : Calor generado en el biodigestor (W).

m_g : Flujo másico en el biodigestor (kg/s). Es considerado del volumen total de los 134.4 kg, el cual contiene la mezcla, dividido por las horas (12h) en la cual se demorara en llegar a la temperatura ideal.

c_p : Calor específico ($4.184 \times 1000 \frac{W \cdot s}{kg \cdot ^\circ C}$) a $16^\circ C$.

T_i : Temperatura interna ($^\circ C$). Es la temperatura que sin considera el calentamiento genera por sí misma la mezcla ($16^\circ C$).

$$Q_b = 0,001181 \frac{kg}{s} \times 4.174 \times 1000 \frac{W \cdot s}{kg \cdot ^\circ C} \times 16^\circ C$$

$$Q_g = 99.18 W$$

2.5.7 Calor requerido y potencia calorífica necesaria.

$$Q_{req} + Q_i = Q_{ps} + Q_p + Q_t + Q_o \quad (17)$$

$$Q_{req} + 357.2 = 445.22667 + 3.87 + 7.06 + 10.37$$

$$Q_{req} = 287.93 W$$

$$Q_{REQ} = Q_{req} + Q_g \quad (18)$$

$$Q_{REQ} = 287.93 + 99.18$$

$$Q_{REQ} = 188.75 W$$

2.5.8 Intercambiador de calor. Con el valor obtenido de energía se procede a determinar los parámetros correspondientes para el intercambiador de calor como la cantidad de agua que circulará en el sistema.

$$Q_{REQ} = 188.75 W$$

2.5.9 Cantidad de agua.

$$Q_{REQ} = m_{agua} \times c_{agua} \times \Delta T \quad (19)$$

Dónde:

Q_{REQ} : Calor requerido (W).

m_{agua} : Flujo másico de agua (kg/s).

c_{agua} : Calor específico ($4.174 \times 1000 \frac{W \cdot s}{kg \cdot ^\circ C}$) a $70^\circ C$. (Incropera)

ΔT : Diferencia de temperatura ($^\circ C$)

$$m_{\text{agua}} = \frac{Q_{REQ}}{c_{\text{agua}} \times \Delta T}$$

$$m_{\text{agua}} = \frac{188.75 W}{4.174 \times 1000 \frac{W \cdot s}{kg \cdot ^\circ C} \times (70 - 36)^\circ C}$$

$$m_{\text{agua}} = 0.0013 \frac{kg}{s}$$

2.5.10 *Número de pasos y tubos.* Un solo tubo por cuatro divisiones.

$$m_{\text{agua}'} = \frac{m_{\text{agua}}}{\#tubos} \quad (20)$$

Dónde:

$m_{\text{agua}'}$: Flujo másico de agua por tubo (kg/s).

m_{agua} : Flujo másico de agua (kg/s).

$\#tubos$: Número de tubos a emplear según decisión.

$$m_{\text{agua}'} = \frac{0.00133 kg/s}{1}$$

$$m_{\text{agua}'} = 0.0013 kg/s$$

a) Dimensiones de la tubería

El diseño es según el espacio disponible en el interior de la cámara de fermentación, aplicando las normas ASTM A-106 para tuberías de intercambio de calor. (COTAIN, S. A., 2007)

Por la disposición se empleará tubería de $\frac{1}{2}$ in, debido al costo se selecciona este diámetro.

Figura 7. Dimensiones y pesos de tubo de acero

ASTM A-106 Gr. B					
Dimensiones y Pesos de Tubo de Acero sin Soldadura, Extremos Lisos (ANSI/B 36,10 / 1970)					
DIAMETRO NOMINAL IN.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	ESPESOR mm.	EXTREMOS LISOS Kg/m.	IDENTIFICACION DE ESPESORES	
				ESTÁNDAR X-STRONG / XXS WEIGH	SCHEMATIC NUMBER
1/8"	10,3	1,73	0,36	STD	40
		2,41	0,46	XS	80
1/4"	13,7	2,24	0,63	STD	40
		3,02	0,80	XS	80
3/8"	17,1	2,31	0,85	STD	40
		2,90	1,10	XS	80
1/2"	21,3	2,77	1,26	STD	40
		3,73	1,62	XS	80
		4,77	1,95		160
		7,47	2,54	XXS	

Fuente: ASTM A-106 para tuberías de intercambio de calor. p.2.

b) Determinación del número de Reynolds al interior de la tubería

$$R_e = \frac{4 \times m_{\text{agua}}}{\pi \times D_i \times u} \quad (21)$$

Dónde:

m_{agua} : Flujo másico de agua (kg/s).

u : Viscosidad del agua ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$) a 70°C .

D_i : Diámetro interno (m).

$$R_e = \frac{4 \times 0.00133 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \times 0.018 \times 466.5 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$R_e = 195.91 \text{ Regimen estacionario}$$

c) Determinación de Nu_D

Ya que el régimen es estacionario se aplica la siguiente ecuación: (INCROPERA, 1999 pág. 422)

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 4.36 \quad (22)$$

De aquí:

$$h_i = Nu_D \times \frac{k}{D_i} \quad (23)$$

Dónde:

k: Coeficiente de transferencia de calor del agua ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$) a 70°C.

D_i: Diámetro interno (m).

h_i: Coeficiente de película ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

$$h_i = 4.36 \times \frac{654.3 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.018 m}$$

$$h_i = 153.95 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

d) Coeficiente de transferencia de calor

Al exterior del tubo, se tiene:

$$h_o = 4260 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ (INCROPERA, 1999)}$$

e) Coeficiente global de transferencia de calor

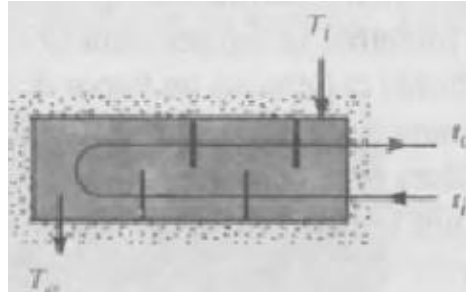
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}} \quad (24)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4260 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + \frac{1}{153.95 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}}$$

$$U = 148.58 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

f) Determinación de los factores de corrección del intercambiador

Figura 8. Intercambiador de calor coraza y tubos



Fuente: INCROPERA Frank, Transferencia de calor. p.12.

$T_1 = 70\text{ °C}$ Temperatura de entrada de agua

$T_2 = 36\text{ °C}$ Temperatura de salida de agua (asumido)

$t_1 = 12\text{ °C}$ Temperatura de entrada de biomasa

$t_2 = 35\text{ °C}$ Temperatura de salida de biomasa

g) Determinación de la temperatura de salida del agua

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (25)$$

$$R = \frac{70 - 36}{35 - 12} = 1,04$$

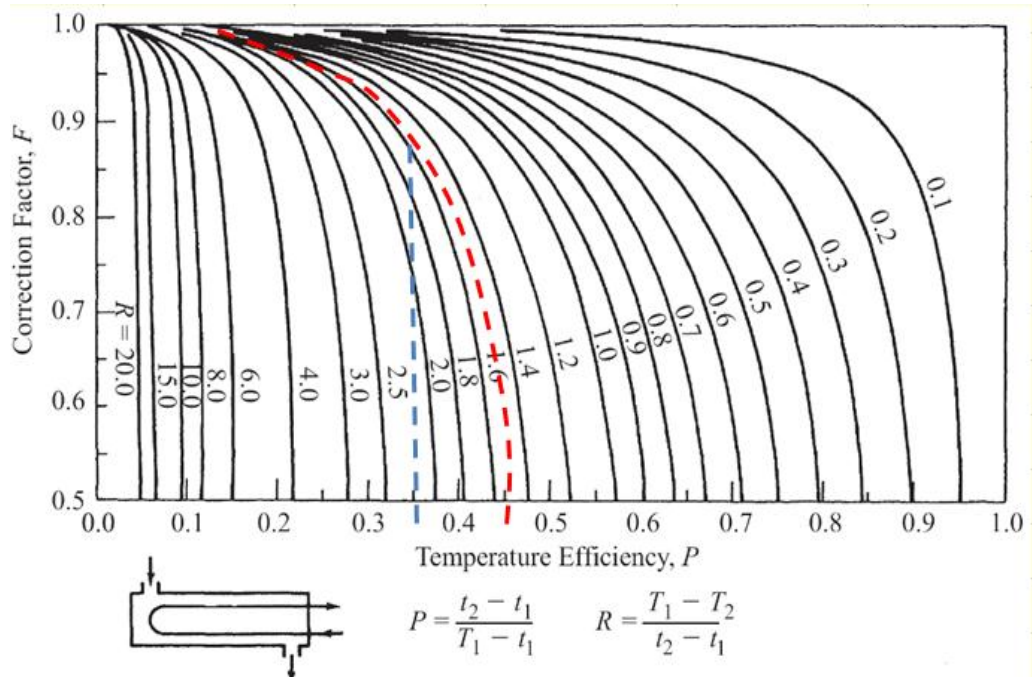
$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (26)$$

$$P = \frac{35 - 12}{70 - 12} = 0.396$$

Dónde:

R, P: Factor de corrección para intercambiadores de calor.

Figura 9. Factor de corrección



Fuente: INCROPERA Frank, Transferencia de calor. p.12.

$$F = 0.9$$

h) Diferencia de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln\left(\frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}\right)} \quad (27)$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(70 - 12) - (36 - 35)}{\ln\left(\frac{(70 - 12)}{(36 - 35)}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 14.08^\circ\text{C}$$

i) Longitud necesaria

$$Q_{REQ} = U \times A \times F \times \Delta T_{ml} \quad (28)$$

$$A = N \times L \times a \times b \quad (29)$$

$$Q_{REQ} = U \times N \times L \times a \times b \times F \times \Delta T_{ml} \quad (30)$$

$$L = \frac{Q_{REQ}}{U \times N \times a \times b \times F \times \Delta T_{ml}}$$

$$L = \frac{188.75 \text{ W}}{148.58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times 1 \times 0.5\text{m} \times 0.8\text{m} \times 0,9 \times 14.037^\circ\text{C}}$$

$$L = 0.25\text{m}$$

j) Longitud adecuada por el número de pasos

$$L_{adc} = \frac{L}{M} \quad (31)$$

$$L_{adc} = \frac{0.25}{2}$$

$$L_{adc} = 0,13 \text{ m/paso}$$

2.6 Accesorios

a. Válvulas de globo

Estas válvulas se encuentran ubicadas antes de cada equipo, su función principal es la de bloquear o habilitar el paso del flujo por las tuberías a la vez que permitirán realizar cualquier reparación de los equipos para el mantenimiento.

b. Te

Se encuentra ubicado en el sistema del biogás, y su función principal es la de permitir tomar parte del flujo para determinar su presión a la que se encuentra el sistema.

c. Codos

Estos accesorios permiten cambiar la dirección o trayectoria, lo cual facilita las conexiones y ubicación de los equipos respectivos.

d. Universales

Son las conexiones que están antes y después de cada equipo, su función es la de permitir con facilidad la remoción de los equipos para realizar un mantenimiento o una reparación.

e. Adaptadores

Son los más importantes ya que por medio de estos implementos se acopla la cámara de digestión con el intercambiador, la bomba de recirculación y el sistema de conducción del biogás.

f. Reducciones

Estos accesorios permiten trabajar con elementos de diferente medida como cambio de $\frac{3}{4}$ in a $\frac{1}{2}$ in, según el requerimiento o la necesidad, como para la conexión de las bombas.

g. Teflón y permatex

Son los elementos de sellado y acople entre cada accesorio con la tubería y unión hermética con cada equipo que este en el sistema.

h. Uniones

Permiten acoplar con facilidad dos tubos siempre y cuando se disponga de acople de tamaños pequeños, para economizar y en si darle un buen uso a toda la tubería.

2.7 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad se coloca cerca del digestor, este elemento permite regular la presión interna del biodigestor. Además de impedir el ingreso del aire a la cámara de fermentación. (HERRERO, 2008)

La válvula está hecha de un tubo de 3 in. PVC con tapas y una abertura en la parte lateral, con la toma para el ingreso del tubo que contiene el biogás.

2.8 Filtro de H₂S

En su interior tiene lana de acero (viruta), que retiene gran parte del H₂S contenido en el biogás. El H₂S es un compuesto muy corrosivo además de presentar mal olor.

2.9 Sistema de calefacción

El digester cuenta con un aislamiento de plancha de poliestireno expandido de 0.02 m de espesor en todo su contorno y base, en el interior se encuentra un serpentín de 6 pasos de acero inoxidable, con el respectivo depósito de agua para calentar la mezcla.

2.10 Medidor de gas

Registra la cantidad de gas producida por el biodigester en litros o metros cúbicos.

Figura 10. Medidor de gas



Fuente: Autores

2.11 Sistema de control automático

La agitación está programada para accionarse cada 20 minutos por un lapso de 6 minutos, esto permite mantener homogénea toda la biomasa que se encuentra al interior del digester, así también permitir la facilidad de que el gas atrapado en forma de burbujas se libere.

El agua se calienta por medio de un termostato regulado para mantener el agua a 70 °C, en el interior de la cámara de digestión se encuentra una termocupla que censa la temperatura en el interior del digester.

Cuando la temperatura interna del digestor baja de 35°C, el controlador MDA acciona la bomba de circulación de agua caliente, hasta llegar a otra vez a 35°C.

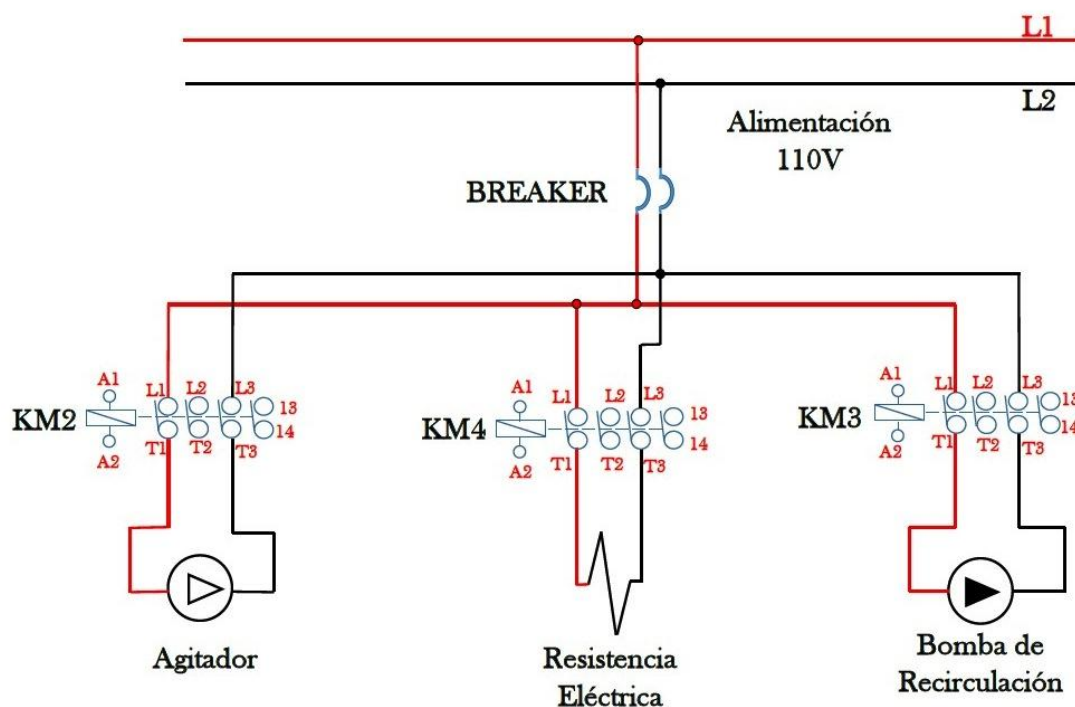
Figura 11. Caja de control



Fuente: Autores

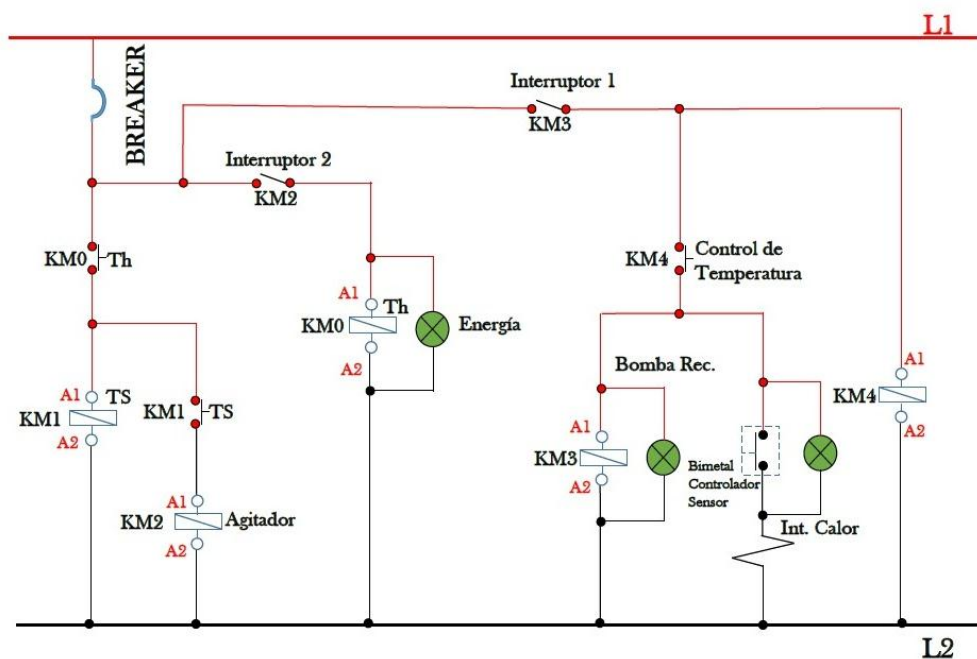
2.11.1 Diagramas de potencia y control.

Figura 12. Diagrama de potencia
CIRCUITO DE POTENCIA



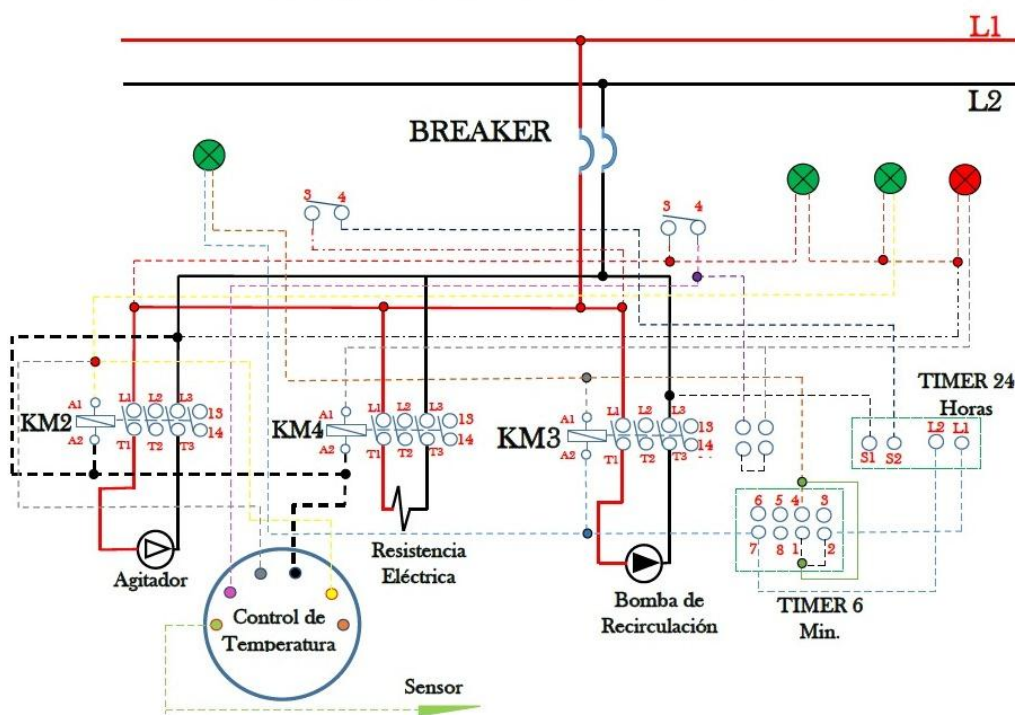
Fuente: Autores

Figura 13. Diagrama de control
CIRCUITO DE CONTROL



Fuente: Autores

Figura 14. Diagrama de conexión
ESQUEMA DE CONEXION



Fuente: Autores

2.12 Sistema de agitación

Consta de un motor de 1300 W, con un variador de frecuencia incorporado que permite variar la velocidad del agitador, el eje del agitador mide 0.60 m de longitud y es de acero inoxidable 304, el diámetro de la hélice es de 0.095 m construida en acero inoxidable ya que la mezcla es corrosiva por contener azufre.

2.13 Cámara de fermentación

Con el volumen determinado de 0.16 m^3 se dimensionó la cámara con las siguientes medidas: (0.80 x 0.50 x 0.40) m, por la disponibilidad de espacio.

Se construirá en vidrio crudo transparente de 10 mm de espesor pegado con silicona lo suficientemente fuerte, como para no poder separarse con facilidad a excepción de utilizar un estilete y gran fuerza. La geometría es rectangular.

2.14 Membrana termoflexible

Soporta fuerzas de más de 8 N/mm^2 , elongaciones de 400% *y soporta temperatura de 145°C y no se fisura*, además de que su colocación no es muy compleja.

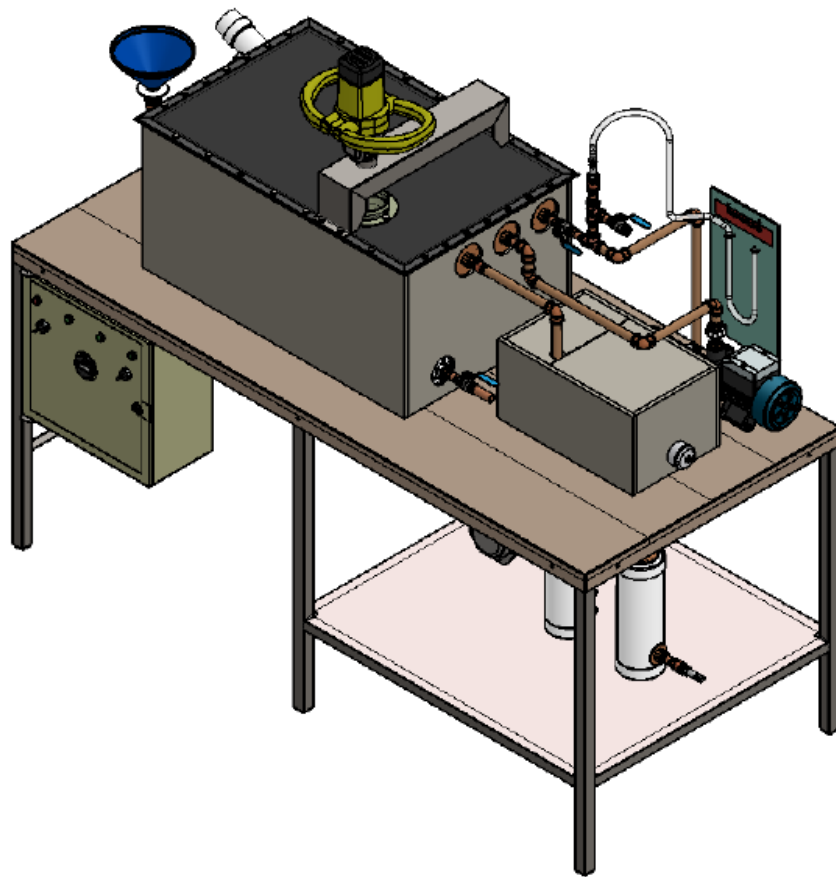
2.15 Tubería de conducción de biogás

Se empleará tubería pvc de $\frac{1}{2}$ in con los respectivos accesorios. Conduciendo el biogás desde la cámara de acumulación hasta el medidor de gas.

2.16 Reservorio de agua caliente

Construido en lámina de acero galvanizado con medidas de (0.3 x 0.2 x 0.2) m, y recubierto con plancha de poliestireno expandido de 0.02 cm.

Figura 15. Prototipo de biodigestor de flujo continuo para laboratorio.



Fuente: Autores

CAPÍTULO III

3. ELABORACIÓN DEL SOFTWARE

3.1 Desarrollo de la base de datos

El programa de los Biodigestores FD, es una herramienta para el diseño y dimensionamiento de las plantas de biogás, mediante el aprovechamiento de los desechos orgánicos para la producción del biogás como la generación de energía eléctrica y fertilizante orgánico.

El programa de los Biodigestores FD, trabaja y permite el dimensionamiento del digestor y sus estructuras auxiliares.

Las principales características del programa de los Biodigestores FD se enumeran a continuación.

- Permite el ingreso y combinación de más de 6 tipos de biomasa (estiércol de vacuno, cerdo, ovino, cuy, conejos, paja de arroz, desechos de cocina, aserrín, etc.), como sustratos para alimentar al biodigestor.
- El programa utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- Calcula la cantidad de biomasa disponible, según el peso y cantidad de animales.
- Ingresar y guardar nuevos tipos y especies de biomasa, siempre y cuando conozca sus especificaciones necesarias como densidad, especie, etc.
- A fin de evitar confusiones con su nomenclatura, se ha escrito adjunto su nombre específico.
- Tiene notas de advertencia, que indican que parámetros que son considerados como los óptimos de trabajo.
- Permite el dimensionamiento del biodigestor, con el cálculo de su volumen.
- Considera que tiempo va estar almacenado el biol según decisiones del constructor.

3.2 Inicio del programa

3.2.1 Pantalla principal

- La pantalla principal se presenta de la siguiente manera, permite la selección de **Iniciar Proyecto** nuevo, en el que se empezara un nuevo dimensionamiento en función de la cantidad y tipo de animales que se dispongan en el lugar donde se va a implementar el digestor o a su vez **Abrir Proyecto**, el cual permite el ingreso hacia la base de datos y acceder a uno ya existente.

De la misma manera y de una forma rápida el programa permite el ingreso de nuevas especies tanto animal como vegetal según las necesidades y tipo de especie que se disponga en la zona de su implementación.

Figura 16. Interfaz del programa



Fuente: Autores

- Al momento de realizar el ingreso de las nuevas especies, el software permite que se registren distintas especies tanto animales como vegetales, siempre y cuando se conozcan las características físico- químicas (densidad, peso promedio, peso vivo estiércol, relación excretas-agua).

Figura 17. Ingreso de datos especies animales

The screenshot shows a software window titled "Form_DatosTécnicosAnimales". Inside, there is a group box labeled "groupBox1" containing five input fields with labels: "Especie Animal", "Peso Promedio (WA)(kg)", "% Peso vivo estiércol (PE)", "Relación de excretas-agua (RAE)", and "Densidad (pb)". Each field has a corresponding numeric input box and a small up/down arrow icon. To the right of these fields is a "Grabar" button. Below the input fields is a table with the following data:

	ID	Nombre	PesoPromedio	PesoVivoEstiercol	RelacionExcretasAgua	Densidad
▶	1	Vacuno	450	0,05	1,3	994
	2	Cerdo	100	0,02	0	994
	3	Avícola	2,5	0,045	1,3	994
	4	Porcina	100	0,02	3	994
	5	Cuy	0,55	0,03	3	994
*						

Fuente: Autores

- *Tipos de biomasa*

Para que los diseños tenga un óptimo funcionamiento y de igual forma evitar que se tengan que hacer limpiezas en tiempos innecesarios, es de vital importancia que la materia prima para la producción del biogás sea la biomasa fresca ya que su población bacteriana se encuentra viva y en plena función de descomposición lo que ayuda en la producción del biogás.

Como el software permite realizar la consideración de otros tipos de residuos orgánicos, es importante mencionar que no se deberá considera residuos duros (cascaras duras) o de larga duración (vísceras), esto dependerá de la decisión única del usuario porque las cascaras duras y vísceras requieren mayor tiempo de degradación, esta fuente de información la mencionan técnicos que actualmente trabajan volúmenes considerables.

Las excretas de mejor producción de biogás son de porcinos y humanos, pero el fertilizante producido es muy ácido, por lo cual el proceso de tratamiento previo es diferente y más complejo, porque no se puede eliminar al cien por ciento los coliformes existentes en la mezcla de salida, lo cual resulta peligroso utilizar como fertilizante en cultivos que se encuentren bajo tierra.

A modo de ilustración se expone a continuación un cuadro indicativo sobre cantidades de biomasa producida por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos. (GUARDADO, 2007 pág. 23)

Tabla 3. Características de los distintos tipos de biomasa

Especie Animal	Peso Promedio (kg)	Tamaño	Cantidad de excretas por día (kg)	Producción de biogás (m ³ /animal. Día)	Metano (%)	Relación de excretas-agua	% Peso vivo estiércol (%PE)
Vacuno	450	Grande	15	0.6	65	1:1	5
		Mediano	10	0.4			5
		Ternero	4	0.16			5
Cerdo	110	Grande	2	0.14	70	1:1 a 1:3	2
		Mediano	1.5	0.1			2
		Pequeño	1	0.07			2
Avícola	2,5	Grande	0.15	0.09	65-70	1:3	4,5
		Mediano	0.1	0.06			4,5
		Pequeño	0.05	0.03			4,5
Ovino	90	Grande	5	0.25	70	1:2 a 2:3	3
		Mediano	2	0.1			3
		Pequeño	1	0.05			3
Pato	3,5		0.15	0.08		1:2 a 2:3	4,5
Paloma	0,26		0.05	0.03		1:2 a 2:3	5
Caballo	500		15	0.6	65	1:2 a 2:3	2
Cuy	0,55		0.01			1:3	3
Conejo	4,3		0,08			1:3	3
Caprino	80		2	0.2	65	1:1 a 1:3	4,5

Fuente: GUARDADO José, Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. p.23.

De igual manera para las especies vegetales. Se considera las más comunes que existe en el país, y de las cuales se han podido recopilar datos específicos de cada especie. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2003)

Tabla 4. Características distintos tipos de materia orgánica

Desechos Orgánicos	% de sólidos totales SO.	Producción de biogás (m ³ /kg desechos. Día)	Metano (%)	Relación de desechos-agua
Pasto	24	0,350		1:1
Hierba mezclada	24	0,350		1:1 a 1:3
Heno, Alfalfa	24	0,410		1:3
Paja de trigo	82	0,250		1:2 a 2:3
Paja de arroz	89	0,220		1:2 a 2:3
Tallos de maíz	80	0,410		1:3 a 1:4
Aserrín	65	0,250		1:2 a 2:3
Hojas secas	65	0,160		1:2 a 2:3
Restos de cocina	15	0,250		1:3
Residuos avena	80	0,220		1:3

Fuente: GUARDADO José, Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. p.23.

3.3 Ingreso de la información

Se realiza el ingreso de la información necesaria (nombre del proyecto, ubicación, proyectista, seleccionar el tipo de biomasa), esta información ayudará para futuros proyectos, quedando almacenada en la base de datos, lo que permitirá al usuario saber dónde están implementados estos digestores e ir a visitar y constatar en qué estado de funcionamiento se encuentra el digestor.

Para determinar un diseño apropiado es recomendable seguir las notas que se encuentra visibles en las ventanas del software.

En la misma pantalla se podrá seleccionar si solo se va a trabajar con especies animales o de tipo vegetales, esto permitirá el acceso ya sea a un solo tipo de datos o a los dos a la vez.

Figura 18. Ingreso de datos del proyecto

Nombre y ubicación del proyecto

Nombre del proyecto: Bodigestor FD
 Ubicación: Huachi
 Provincia: Tungurahua
 Cantón: Ambato
 Fecha: miércoles, 16 de octubre de 2013

Datos Óptimos del Diseño

Temperatura Diseño óptimo: 35°C.
 Utilizar agua en reposo si es de potable.
 Es mejor emplear membranas.
 Vida del digestor con recubrimiento de membrana más de 30 años.

Selección del tipo de desecho que va a ingresar al digestor

☒ Estiércol en base al peso promedio y número de animales
☒ Desechos vegetales y Restos de cocina

Anterior Siguiente

Fuente: Autores

3.3.1 Cantidad de biomasa disponible. Para calcular la cantidad biomasa que se dispone al día, dependiendo de la especie, el peso y tiempo de estabulación, el software utiliza las siguientes ecuaciones: (ICE, 2009)

$$MD_e = \frac{NA \times WA \times HE \times \%PE}{24} \quad (32)$$

Dónde:

MD_e : Masa disponible estiércol por día (kg/día).

NA: Número de animales (animales).

WA: Peso promedio de animales (kg/animal).

HE: horas de estabulación (horas).

24: factores de conversión (hora a día).

Figura 19. Ingreso de número de animales y tiempo de estabulación

Form_Especies

Especies Tipos

Especie 1 Especie 2 Especie 3 Especie 4 Especie 5 Especie 6

ESPECIE 1

Tipo de animal: Vacuno

Número de animales (NA): 10,000

Peso promedio del animal (WA): 450,000 (kg)

Horas de estabulación (HE): 12,000 (horas)

% en peso vivo de estiércol (PE): 0,050 (%)

Relación (Estiércol y agua) (RAE): 1,000

Masa de agua (MH2O1): 9,113 (kg/día)

Masa de estiércol (MDe1): 9,225 (kg/día)

Biomasa Disponible

Masa de estiércol (MDe): 112,500 (kg/d)

Masa de agua (MH2O): 112,500 (kg/d)

Masa de la mezcla (MDe): 225,000 (kg/d)

Densidad

Densidad del agua (pH2O): 1000,000 (kg/m³)

Densidad del agua (pb): 994,000 (kg/m³)

Mezcla

Masa total (MTA1): 0,338 (kg/día)

Grabar

Anterior Siguiente

Fuente: Autores

- Para los desechos orgánicos (vegetales) utiliza la siguiente ecuación:

$$MD_{dg} = \frac{C_{dg} \times HR}{24} \quad (33)$$

Dónde:

MD_{dg} : Masa disponible desechos orgánicos por día (kg/día).

C_{dg} : Cantidad de desechos orgánicos (kg).

HR: horas de recolección desechos (horas).

Figura 20. Ingreso datos desechos vegetales

Fuente: Autores

- Para el cálculo del volumen requerido aplica las siguiente ecuaciones:

$$MD'_e = MD_e + M_{H_2O} \quad (34)$$

$$M_{H_2O} = MD_e \times R_{AE} \quad (35)$$

$$MD'_{dg} = MD_{dg} + M_{H_2O} \quad (36)$$

$$M_{H_2O} = MD_{dg} \times R_{AD} \quad (37)$$

Dónde:

MD'_e : Masa disponible de la mezcla por día (kg/día).

MD'_{dg} : Masa disponible de la mezcla de desechos por día (kg/día).

M_{H_2O} : Cantidad adecuada de agua por día (Kg/día).

R_{AE} : Relación de agua-estiércol.

R_{AD} : Relación de agua-desechos.

- Los valores que se obtiene son en kg , para el dimensionamiento se requiere en m^3 , el software realizara la operación de conversión de unidades:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3} \quad (38)$$

$$\rho_b = 994 \frac{kg}{m^3} \quad (39)$$

Dónde:

ρ_{H_2O} : Densidad del agua (kg/m^3)

ρ_b : Densidad de la biomasa mezcla (kg/m^3)

- Las siguientes ecuaciones determinan la cantidad de biomasa y agua:

$$MD_{e1} = \frac{MD_e}{\rho_b} \quad (40)$$

$$MD_{dg1} = \frac{MD_{dg}}{\rho_b} \quad (41)$$

$$M_{H_2O1} = \frac{MD'_e}{\rho_{H_2O}} \quad (42)$$

$$M_{H_2O2} = \frac{MD'_{dg}}{\rho_{H_2O}} \quad (43)$$

Dónde:

MD_{e1} : Volumen de masa de estiércol por día (m^3)

MD_{dg1} : Volumen de masa de agua por día (m^3)

M_{H_2O1} : Volumen de masa de agua para el estiércol por día (m^3)

M_{H_2O2} : Volumen de masa de agua para los desechos por día (m^3)

- Con la penúltima ecuación se determinar el volumen entre la mezcla y agua en m^3 , tanto estiércol, como desechos:

$$M_{TA} = MD_{e1} \quad (44)$$

$$M_{TD} = MD_{dg1} + M_{H_2O2} \quad (45)$$

Dónde:

M_{TA} : Volumen de masa de estiércol-agua por día (m^3)

M_{TD} : Volumen de masa de desechos- agua por día (m^3)

- *Masa disponible*

Figura 21. Masa total disponible

Animal		Vegetal	
Masa total (MTA1)	0,338 ($m^3/día$)	Masa total (MTD1)	0,022 ($m^3/día$)
Masa total (MTA2)	0,000 ($m^3/día$)	Masa total (MTD2)	0,000 ($m^3/día$)
Masa total (MTA3)	0,000 ($m^3/día$)	Masa total (MTD3)	0,000 ($m^3/día$)
Masa total (MTA4)	0,000 ($m^3/día$)	Masa total (MTD4)	0,000 ($m^3/día$)
Masa total (MTA5)	0,000 ($m^3/día$)	Masa total (MTD5)	0,000 ($m^3/día$)
Masa total (MTA6)	0,000 ($m^3/día$)	Masa total (MTD6)	0,000 ($m^3/día$)
Mezcla total disponible para el Dimensionamiento del Digestor			
Mezcla total disponible (MDT)		0,359 ($m^3/día$)	

Anterior Siguiente

Fuente: Autores

Finalmente el software calculara la masa total disponible entre mezcla de agua-estiércol y desechos-agua es igual:

$$M_{DT} = \sum_{i=1}^n M_{TA} + \sum_{i=1}^n M_{TD} \quad (46)$$

Dónde:

M_{DT} : Volumen de masa disponible total por día ($m^3/día$). Es la sumatoria total de todas las especie a ingresar al digestor.

Figura 22. Datos grabados

Fuente: Autores

3.4 Diseño del digestor

Figura 23. Dimensionamiento del digestor

Fuente: Autores

- Se determina el volumen del digestor:

$$V_{Dg} = M_{DT} \times TRH \quad (47)$$

Dónde:

V_{Dg} : Volumen del digestor (m^3).

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días).

M_{DT} : Volumen de masa disponible total ($m^3/día$)

- A medida que la temperatura aumenta la población bacteriana se incrementa, esto hace que la degradación de la biomasa se acelere, por lo tanto el TRH disminuye. Como resultado se requiere un volumen menor de la cámara de fermentación.

Figura 24. Volumen del digestor

Volumen del digestor		
Mezcla total disponible (MDT)	0,359	($m^3/día$)
Temperatura de trabajo (T)	35,000	(°C)
Tiempo de retención hidráulica (TRC)	21,035	(días)

Fuente: Autores

Tabla 5. Temperatura de trabajo de los microorganismos anaeróbicos

Bacterias	Rango de temperaturas	Sensibilidad
Psicrofílico	(4°C hasta 25°C)	($\pm 2^\circ C/hora$)
Mesofílico	(25°C hasta 35°C)	($\pm 1^\circ C/hora$)
Termofílico	(35° hasta 65°C)	($\pm 0,5^\circ C/hora$)

Fuente: HILBERT Jorge, Manual para la producción de biogás. p.11.

Tabla 6. Producción de biogás en relación con el tiempo de retención

Temperatura (°C)	Producción de gas ($m^3/día$)	Tiempo de retención (meses)
15	0,15	12
20	0,30	6
25	0,60	3
30	1,00	2
35	2,00 o mayor	1

Fuente: MANITIO Javier, Diseño y Construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas. p.39.

3.4.1 Volumen requerido para el digestor.

Figura 25. Dimensionamiento de la pileta

Taludes	Factor de relación (fR)	Factor de A (fA)	Factor de L2 (fL2)
$\alpha = 33.7^\circ$	1,5	3,286	3,858
$\alpha = 39.8^\circ$	1,2	2,715	3,258
$\alpha = 45^\circ$	1	2,286	2,86

Altura (H) 1.200 (m)

Ancho máximo (A) 3.943 (m)

Ancho base (a) 0.343 (m)

Longitud máxima (L2) 4.630 (m)

Longitud base (L1) 1.030 (m)

Área base (A1) 0.353 (m²)

Área máxima (A2) 18.255 (m²)

Digestor tipo laguna (VDgFD) 8.459 (m³)

Volumen del digestor (VDg) 7.855 (m³)

OK

Anterior Siguiente Grabar

Fuente: Autores

a) Primero se selecciona el ángulo de diseño

Tabla 7. Factores de dimensionamiento

Taludes	Factor de relación (fR)	Factor de A (fA)	Factor de L2 (fL2)
$\alpha = 33.7^\circ$	1,5	3,286	3,858
$\alpha = 39.8^\circ$	1,2	2,715	3,258
$\alpha = 45^\circ$	1	2,286	2,86

Fuente: Autores

b) El procedimiento de cálculo solo se realiza ingresando la altura

$$A = H \times f_A \quad (48)$$

Dónde:

A: Ancho máximo (m).

H Altura (m).

f_A : Factor cálculo ancho.

c) Cálculo de la longitud máxima

$$L2 = H \times f_{L2} \quad (49)$$

Dónde:

$L2$: Longitud máximo (m).

H Altura (m).

f_{L2} : Factor cálculo longitud.

d) Ancho de la base

$$a = A - (H \times f_R \times 2) \quad (50)$$

Dónde:

a : Ancho base (m).

A : Ancho máximo (m).

H Altura (m).

f_R : Factor cálculo ángulo.

e) Longitud de la base

$$L1 = L2 - (H \times f_R \times 2) \quad (51)$$

Dónde:

$L1$: Longitud base (m).

$L2$: Longitud máximo (m).

H Altura (m).

f_R : Factor cálculo ángulo.

f) Área de la base

$$A1 = (a \times L1) \quad (52)$$

Dónde:

A1: Área base (m²).

a: Ancho base (m).

L1: Longitud base (m).

g) Área Superior

$$A2 = (A \times L2) \quad (53)$$

Dónde:

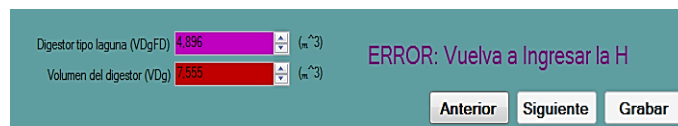
A2: Área máxima (m²).

A: Ancho máximo (m).

L2: Longitud máxima (m).

Una vez ingresada la altura el cálculo será automático. Si el usuario ingresa un valor de altura que no está de acuerdo con el cálculo previo del volumen del digestor, aparecerá un mensaje de error.

Figura 26.mensaje de error



Fuente: Autores

h) Volumen digestor tipo laguna

$$V_{Dg}FD = \left(\frac{H}{3}\right) \times (A1 + A2 + \sqrt{A1 \times A2}) \quad (54)$$

Dónde:

H Altura (m).

V_{Dg}FD: Volumen del digestor tipo laguna (m³).

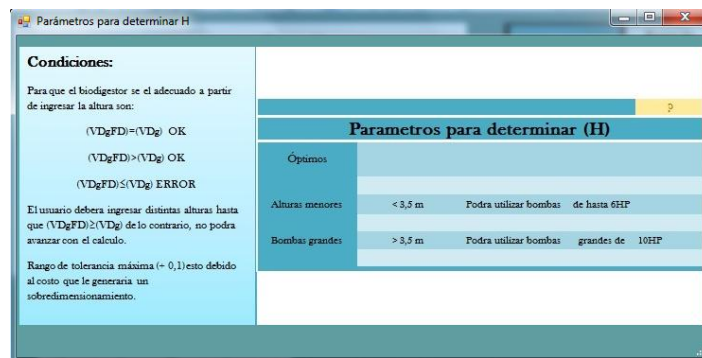
A2: Área máximo (m²).

A1: Ancho máximo (m).

V_{Dg}: Volumen del digestor (m³).

Al presionar la ayuda indicará las condiciones ideales del trabajo para poder optimizar el diseño y poder determinar H.

Figura 27. Ayuda



Fuente: Autores

3.5 Diseño de piletas de carga y descarga

3.5.1 Pileta de carga. De igual manera que en el caso anterior si no determina las dimensiones adecuadas le saldrá un error hasta el momento que llegue a un valor similar superior. De lo contrario, no se le habilitaran los botones de **Siguiente** y **Grabar**, hasta obtener dicho valor en los tres casos del digestor y en las 2 piletas. Solo cuando le salga el mensaje podrá proseguir y guardar los cambios hasta donde este.

Figura 28. Dimensionamiento de la pileta de carga

Dimensionamiento de la pileta de carga

Mezcla total disponible (MDT) 0,359

Altura (al) 0,600 (m)

Ancho (a1) 0,700 (m)

Largo (lg) 1,000 (m)

Volumen de pileta Mezcla (VPM) 0,420 (m³)

Área mezcla (Am) 0,700 (m²) OK

Condiciones:

Para que el biodigestor se el adecuado a partir de ingresar la altura son:

$(V_{PM}) = (V_{DT})$ OK

$(V_{PM}) > (V_{DT})$ OK

$(V_{PM}) \leq (V_{DT})$ ERROR

El usuario debera ingresar distinta altura, ancho y largo hasta que $(V_{PM}) \geq (V_{DT})$ de lo contrario, no podra avanzar con el calculo.

Rango de tolerancia máxima (+ 0,1 hasta 0,3) esto debido al costo que le generaria un sobredimensionamiento.

Anterior Siguiente Grabar

Fuentes: Autores

a) Dimensionamiento de la pileta de carga

$$V_{PM} = al_1 \times a_1 \times lg_1 \quad (55)$$

Dónde:

V_{PM} : Volumen de la pileta de mezcla (m³).

M_{DT} : Volumen de masa disponible total ($m^3/día$).

al_1 : Altura de la pileta de mezcla (m).

a_1 : Ancho de la pileta de mezcla (m).

lg_1 : Largo de la pileta de mezcla (m).

$$A_m = a_1 \times lg_1 \quad (56)$$

Dónde:

A_m : Área base pileta (m^2).

a_1 : Ancho de la pileta de mezcla (m).

lg_1 : Largo de la pileta de mezcla (m).

3.5.2 Pileta de descarga. El usuario deberá ingresar un tiempo mínimo para tenerlo almacenado en la pileta.

Figura. 29. Dimensionamiento de la pileta de descarga

Dimensionamiento de las piletas de carga y descarga del afluente

Dimensionamiento de la pileta de descarga

Mezcla total disponible (MDT) 0,359

NOTA: A usuario se le recomienda que tome una decisión importante, el afluente debe tener mínimo unos 5 días para que por cualquier razón dentro de los 5 días pueda retra el biol, sin que se desborde de la pileta de descarga, si va sacarlo el mismo día entonces solo ingrese 1 día el calculo será similar al anterior el mismo tamaño.

Días de recolección (D) 5,000 (días)

Altura (al2) 1,000 (m)

Ancho (a2) 1,400 (m)

Largo (lg2) 1,600 (m)

Volumen de pileta Mezcla (VPD) 1,796 (m^3)

Volumen de pileta Mezcla (VPD1) 2,240 (m^3) OK

Área mezcla afluente (AA) 2,240 (m^2)

Condiciones:

Para que el biodigestor se el adecuado a partir de ingresar la altura son:

$(VPD)=(VDT)$ OK

$(VPD)>(VDT)$ OK

$(VPM)<(VDT)$ ERROR

El usuario debera ingresar distinta altura, ancho y largo hasta que $(VPM) \geq (VDT)$ de lo contrario, no podra avanzar con el calculo.

Rango de tolerancia máxima (+ 0,1 hasta 0,3) esto debido al costo que le generaria un sobredimensionamiento.

Anterior Siguiente Grabar

Fuente: Autores

El tiempo está en función de la disponibilidad del usuario para realizar la extracción del biol, el usuario deberá estimar que tiempo lo desearía mantener en la pileta antes de extraerlo.

Figura 30. Tiempo de permanencia del biol en la pileta

Días de recolección (D)	5,000	(días)
Altura (al2)	1,000	(m)
Ancho (a2)	1,400	(m)
Largo (lg2)	1,600	(m)

Fuentes: Autores

$$V_{PD} = D \times M_{DT} \quad (57)$$

Dónde:

V_{PD} : Volumen de la pileta de descarga (m³).

M_{DT} : Volumen de masa disponible total (m³/día).

D: Días de retención (días).

$$V_{PD1} = al_2 \times a_2 \times lg_2 \quad (58)$$

Dónde:

V_{PD1} : Volumen de la pileta de mezcla descarga (m³).

al_2 : Altura de la pileta de descarga (m).

a_2 : Ancho de la pileta de descarga (m).

lg_2 : Largo de la pileta de descarga. (m).

$$A_A = a_2 \times lg_2 \quad (59)$$

Dónde:

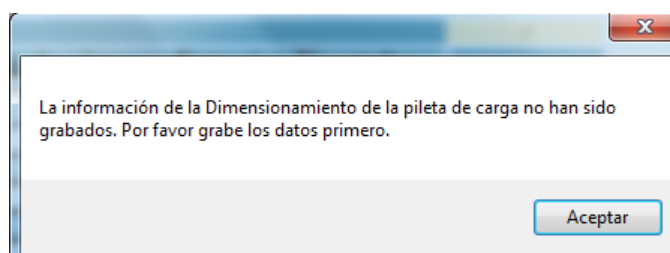
A_A : Área de la base del afluente (m²).

a_2 : Ancho de la pileta de descarga (m).

lg_2 : Largo de la pileta de descarga (m).

- El proceso es el mismo que en el anterior debe cumplirse para poder continuar de lo contrario el software indicara error.
- Finalmente una vez realizado todo el procedimiento el software, indicará la notificación final.

Figura 31. Notificación final



Fuente: Autores

3.5.3 Costo del digestor. Al final de la tarea realizada por el software, mostrará una serie de valores de costos de mano de obra y otros valores básicos para el diseño, esto no quiere decir que el software calculará por completo todos los costó, esto solo está en función del diseño.

Figura 32. Cotización aproximada

Biodigestores FD				
	Unidad	Cantidad	Precio Final	Precio
Excavación zanja máquina	(m ³)	7,555	3,670	27,727
Excavación zanja a mano	(m ³)	7,555	2,060	15,563
Excavación piletas máquina	(m ³)	0,000	2,860	0,000
Excavación piletas a mano	(m ³)	0,000	2,060	0,000
Homigón f=210 kg/	(m ³)	0,000	129,480	0,000
Tableros	120 x 60	0,000	5,690	0,000
Acero de refuerzo	(kg)	0,000	1,980	0,000
Paleteado	(m ²)	0,000	8,780	0,000
Manpostea de ladrillo	(m ²)	0,000	11,920	0,000
Razante de la zanja máquina	(m ²)	0,000	0,850	0,000
Razante de la zanja a mano	(m ²)	0,000	2,060	0,000
Cemento	saco	0,000	5,700	0,000
Arena	Volqueta	0,000	60,000	0,000
Ripio	Volqueta	0,000	60,000	0,000
Membra AQFlex	(m ²)	0,000	12,610	0,000
Membra de recubrimiento	(m ²)	0,000	12,610	0,000
Tubería de 4 in	6m	0,000	7,550	0,000
Termo soldadura	m	0,000	2,500	0,000
Albañil	días	0,000	25,800	0,000
Ayudante de albañil	días	0,000	18,800	0,000
Soldador termico	días	0,000	27,100	0,000

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Plan de pruebas

Las pruebas se realizaron desde el 18 de marzo hasta el 11 de junio del 2013, en el prototipo de biodigestor.

Prueba No. 1, prueba de estanqueidad. (AQUALIMPIA, 2013)

Prueba No. 2, prueba de hermeticidad. (AQUALIMPIA, 2013)

Prueba No. 3, verificación del correcto funcionamiento de los elementos principales.

Prueba No.4, verificación del correcto funcionamiento del sistema de control automático.

Prueba No. 5, primera carga con mezcla de excretas bovinas y agua sin añadir inóculo.

Prueba No. 6, carga con mezcla de excretas bovinas con adición de inóculo.

Prueba No 7, suspensión de la agitación y calefacción.

4.2 Pruebas y resultados

4.2.1 Prueba de estanqueidad. La prueba de estanqueidad tiene por objeto asegurar la ausencia de fugas en cualquier sistema en el que intervengan fluidos a presiones iguales o distintas a la atmosférica.

- **Procedimiento:**

- a. Llenar la cámara de degradación con agua hasta el 85% de su capacidad.

- b. Medir la cota desde el fondo de la cámara hasta la superficie libre del líquido cada 3 horas durante 12 horas.
- c. Registrar las mediciones.

Tabla 8. Registro de medición

HORA	COTA (cm)	OBSERVACIONES
8:00	34,0	Lectura inicial
11:00	34,0	sin variación
14:00	34,0	sin variación
17:00	34,0	sin variación
20:00	34,0	sin variación

Fuente: Autores

- **Resultado.** Se observa que no existe variación en la cota, por lo que se concluye que no existen fugas en paredes ni juntas de la cámara de fermentación.

Nota: Esta prueba se la realiza antes de colocar la membrana.

4.2.2 Prueba de hermeticidad. La prueba de hermeticidad tiene por objeto asegurar la ausencia de flujo de aire ni otra sustancia gaseosa desde y hacia el exterior.

- **Procedimiento**

- a. Llenar el biodigestor con agua hasta que empiece a desbordarse por el tubo de descarga.
- b. Cuando la membrana se infle completamente cerrar la válvula de salida de gas.
- c. Observar minuciosamente toda la membrana con el afán de encontrar alguna fuga de aire.

- **Resultado.** No se encontró fuga alguna de aire, el digestor es completamente hermético.

Verificación del correcto funcionamiento de los elementos principales

Tabla 9. Verificación de funcionamiento

ELEMENTO	FUNCIONAMIENTO		
	BUENO	MALO	REGULAR
Motor eléctrico	X		
Bomba centrífuga	X		
Termostato	X		
Termocupla	X		
Contactores	X		

Fuente: Autores

- **Resultado.** Todos los elementos funcionan correctamente.

4.2.3 Prueba de verificación del correcto funcionamiento del sistema de control automático.

- **Procedimiento**

- a. Cargar el digestor con agua o sustrato.
- b. Llenar el reservorio de agua caliente.
- c. Cebat la bomba (de ser necesario).
- d. Conectar la alimentación de energía eléctrica.
- e. Regular el termostato a 70° C.
- f. Del tablero de control girar la perilla que dice calefacción.
- g. Del tablero de control girar la perilla que dice agitación.

Tabla 10. Funcionamiento del sistema de control automático

ELEMENTO	ENCENDIDO	APAGADO	OBSERVACIONES
Luces indicadoras	OK	OK	Funciona
Bomba centrífuga	OK	OK	Se enciende cuando la temperatura baja de 33 °C y apaga cuando llega a 36 °C
Motor del agitador	OK	OK	Se enciende durante 6 minutos cada 15 minutos
Termostato	OK	OK	Funciona
Termocupla	OK	OK	Funciona

Fuente: Autores

- **Resultados.** El sistema de control automático funciona correctamente según los parámetros de programación.

4.2.4 *Primera carga con mezcla de excretas bovinas y agua sin añadir inóculo.* Esta prueba tiene por objeto determinar el tiempo de producción de biogás sin añadir inóculo.

- **Procedimiento**

- Llenar el digestor al 30% de su capacidad con mezcla de agua y estiércol de vaca.
- Encender el sistema de control automático de calefacción y de agitación.
- Alimentar el biodigestor una vez por día con 3.2 kg de biomasa y 3.2 litros de agua. Hasta que empiece a producir biogás.
- Registrar todos los días la producción de biogás.

- **Resultado.** Se produce biogás a partir del día 23, con una temperatura interna del digestor de 35°C.(ver Anexos E)

4.2.5 Carga de estiércol bovino con adición de inóculo. Esta prueba tiene por objeto determinar el tiempo en que se produce biogás cuando la puesta en marcha se la realiza con adición de inoculantes.

- **Procedimiento**

- a. Llenar el digestor con biol, hasta que se desborde.
- b. Cargar el digestor con 1.8 kg de estiércol de vaca y 4.6 litros de biol.
- c. Cada dos días incrementar la cantidad de estiércol hasta llegar a una relación 1:1, estiércol: biol.
- d. Cuando este equilibrada la mezcla reemplazar el biol por agua la carga diaria es decir 3.2 kg de estiércol más 3.2 litros de agua.
- e. Registrar el volumen de gas producido.

- **Resultado:** se produce biogás a partir del segundo día del arranque del digestor.
- La producción máxima de biogás se registra a los 30 días, con 260 litros / día, a partir de aquí se estabiliza la producción.
- Esta prueba se la realizó desde el 17 de abril hasta el 19 de mayo del 2013.
- La temperatura promedio fue de 34°C.

4.2.6 Suspensión del sistema de agitación y calefacción. Esta prueba tiene por objeto determinar la variación de la producción de biogás cuando se suprime el sistema de calefacción y agitación.

- **Procedimiento:**

- a. Una vez estabilizado el biodigestor y alcanzado la máxima producción de biogás.
- b. Suspender el sistema de agitación.

- c. Suspende el sistema de calentamiento.
- d. Registrar el volumen de biogás producido.
- e. Registrar la temperatura.

Resultado: La producción de biogás empezó a disminuir, así mismo la temperatura.

- La producción se estabilizó en 10 litros de biogás por día.
- La temperatura se mantuvo en 16 grados.

CAPÍTULO V

5. DESARROLLO DEL MANUAL DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

5.1 Factores que influyen en la operación

El sistema de control está regulado para controlar la temperatura del biodigestor, la recirculación del agua hacia el digestor y el agitador, cada uno de los procesos se cumplirá según la programación determinada en los timers por ende no es necesario alterar los parámetros de funcionamiento.

En la operación del digestor se tienen que controlar los siguientes aspectos:

- a. **Temperatura:** la temperatura debe ser controlada cuidadosamente dentro de un rango de 30 a 37 °C.
- b. **Carga orgánica:** la cantidad de gas producido en un biodigestor por día depende de la cantidad de materia prima suministrada por el volumen de la capacidad del digestor. Por lo que el diseño está determinado para una cantidad de 3,2 kg/día de biomasa.
- c. **Mezcla adecuada:** la producción de biogás depende de la concentración de sólidos de la biomasa, por ende la relación adecuada de agua y biomasa es 1:1 por lo que la carga diaria será de 6,4 kg/día.
- d. **Toxicidad:** El pH debe mantenerse entre 6,8 y 7,5, esto se lo puede verificar con las láminas de litmus, en caso de que el pH no sea el adecuado adicionarle un poco de cal hasta obtener el valor óptimo.
- e. **Deficiencia de nutrientes:** el sustrato deberá tener contener los elementos necesarios y proporciones adecuadas, para ser aprovechado por la flora bacteriana para garantizar esto la relación de C/N del deberá encontrarse entre 20:1 – 30:1, por ende el estiércol del ganado vacuno es el más óptimo ya que cumple y están dentro de este rango.

- f. **Agitación:** debe ser constante, por ningún motivo se deberá inhabilitar agitación ya que su agitación garantizará que la mezcla se mantenga homogénea y evitara la formación de la costra, las cuales son las que impiden la salida de los gases.

5.2 Cronograma de operación

- a) **Carga inicial.** Instalado ya el prototipo del biodigestor, se realizará una carga suficiente para tapar tanto la boca de entrada y de salida, por lo cual la primera carga se realizara con las cepas previas obtenida de un digestor ya en funcionamiento y además rico en la producción bacteriana.
- b) **Colocación del gasómetro.** Por lo común es recomendable colocar el gasómetro cuando el digestor ya está cargado.
- c) **Manómetro diferencial abierto.** Mide la variación de alturas que ocurre en el interior de la cámara de acumulación, para regularlo solo se debe abrir la válvula para dejar salir al biogás hasta que se estabilice nuestro barómetro, luego se cierra la válvula y este a su vez nos determinara el valor de la presión a la que se encuentra en su interior.
- d) **Válvula de seguridad.** Regula la máxima presión que debe existir en el interior de la cámara de acumulación. La altura de introducción del tubo que viene del biogás debe ser la misma altura de desplazamiento del agua en que se haya determinado en el barómetro.
- e) **Accionamiento de la caja de control.** Esto se lo realizar una vez controlado todos los parámetros de digestión.

5.3 Seguimiento de operación

Durante la operación del digestor se presentara algunos inconvenientes por lo que se ha realizado una tabla de posibles causas y soluciones:

Tabla 11. Posibles causas y soluciones

Defectos	Posibles causas	Soluciones
Problemas iniciales		
Gasómetro no sube	Muy pocas bacterias.	Adicionar cepas ricas en población bacteriana, de biodigestores en pleno funcionamiento.
	Falta de tiempo.	En clima frío puede tomar entre 2 o 3 semanas para llenar de gas el gasómetro.
	Fugas en el gasómetro o tubería del biogás.	Se debe localizar y reparar las fugas.
	Llave abierta	Cerrar la llave.
	Fugas del sistema.	Verificar que las juntas sean las óptimas, de lo contrario emplear empaques o arandelas.
Problemas generales		
Gasómetro sube lentamente.	Demasiada o muy poca carga de la biomasa.	Se debe ingresar la carga adecuada de biomasa.
	Sustancias químicas e impurezas en la mezcla de carga diaria.	Eliminar arenas, hierbas y otros residuos de la biomasa como: piedras, residuos plásticos, astillas.
		La mezcla debe ser la adecuada, no debe contener sólidos demasiado gruesos.
	Agua.	Si es potable hay que dejar reposar una cierta cantidad equivalente al volumen del digestor por algunos días para eliminar el cloro existente en el agua.

Tabla 11. (Continuación)

		Evitar que ingrese agua innecesaria al sistema.
	pH demasiado o insuficiente.	Si es demasiado agregar un poco de cal para equilibrar la mezcla. Si es insuficiente homogenizar la mezcla adecuada entre agua y biomasa.
Mezcla biomasa – agua		
La mezcla no fluye en el interior del digestor.	Tubería de entrada bloqueada	Se debe limpiar y retirar los obstáculos.

Fuente: Autores

5.4 Plan de mantenimiento

Cámara de digestión, cámara de carga, descarga, tuberías y accesorios.

Tipo de trabajo: Mecánico.

Horas estimadas: 30 min.

Número de personas: 1 persona.

Nota de seguridad:

- ❖ Utilizar elementos de seguridad personal como: guantes, gafas, mandil, mascarilla y botas.
- ❖ No debe existir fuego cerca de la instalación.

Descripción de la tarea: Inspección general y limpieza externa.

Tipo de mantenimiento: Preventivo.

Frecuencia: cada semana.

Instructivo:

- ❖ La carga del biodigestor. Realizarla con cuidado, para evitar que se derrame la mezcla.
- ❖ Limpiar y revisar la cámara de carga y descarga, empleando utensilios de limpieza. Se puede limpiar los contornos de las entradas y salidas para evitar que se acumule la biomasa ocasionando taponamiento.
- ❖ Limpiar e inspeccionar la cámara de digestión (externamente).
- ❖ Verificar el estado de las juntas de sello entre la cámara y la membrana, si existiera alguna fuga, se deberá verificar que los pernos y las tuercas estén ajustadas, de lo contrario ajustarlas.
- ❖ Verificar que el soporte del motor no tenga movimiento alguno, si existiera ajustar las tuercas.
- ❖ Comprobar el estado de las conexiones, que no existan ningún cable sin aislar, de lo contrario realizar las respectivas medidas correctivas.
- ❖ Verificar que los aislantes estén cubriendo toda la cámara del digestor.
- ❖ Verificar que el agitador gire libremente, esto se lo hace girando la barra del agitador, si existiera algún remordimiento, llevarlo a revisar antes de que se produzca algún daño en el motor como fundición de las bobinas.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN

En el siguiente análisis económico se da una descripción de todos los gastos realizados para obtener un valor total de inversión.

6.1 Costos directos

Se toman en cuenta los gastos por materiales, mano de obra, equipos y transporte.

6.1.1 Costos de materiales.

Tabla 12. Costos de materiales

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [\$]	SUBTOTAL [\$]
Vidrio templado 10mm	m ²	1,6	168,00	268,80
Sistema de control automático	Unidad	1	300,00	300,00
Codos 1/2 "	Unidad	15	0,50	7,50
Codos 3/4"	Unidad	1	1,00	1,00
Te	Unidad	2	0,50	1,00
Uniones	Unidad	5	0,50	2,50
Universales	Unidad	5	1,30	6,50
Neplos No. 6	Unidad	6	0,35	2,10
Válvulas Esféricas	Unidad	2	2,00	4,00
Acople con salida a manguera	Unidad	1	0,90	0,90
Tubería PVC blanca	Unidad	1	4,50	4,50
Medidor de gas	Unidad	1	50,00	50,00
Bomba centrífuga	Unidad	1	30,00	30,00
Mesa metálica	Unidad	1	110,00	110,00
Pletina 3/8 x 1/8	Unidad	1	6,00	6,00

Tabla 12. (Continuación)

Angulo 3/8 x 1/8	Unidad	1	12,00	12,00
Embudo	Unidad	1	3,00	3,00
Teflón	Unidad	5	0,90	4,50
Tubo PVC 3"	M	1	4,00	4,00
Manguera transparente	M	2	1,10	2,20
Acople de tanque 3/4"	Unidad	6	2,25	13,50
Reservorio de agua caliente	Unidad	1	40,00	40,00
Termostato	Unidad	1	50,00	50,00
Brida	Unidad	1	30,00	30,00
Soporte para motor	Unidad	1	20,00	20,00
Motor Eléctrico	Unidad	1	220,00	220,00
Agitador	Unidad	1	15,00	15,00
Aislante	m ²	1,6	6,00	9,60
Tubo PVC 2"	M	1	2,50	2,50
Tee PVC 2"	Unidad	1	2,25	2,25
			Subtotal 1	1.223,35

Fuente: Autores

6.1.2 Costos de mano de obra.

Tabla 13. Costos de mano de obra

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO / HORA [\$]	HORAS HOMBRE	SUBTOTAL [\$]
Maestro Vidriero	1	3,50	8	\$ 28,00
Técnico electrónico	1	3,50	40	\$ 140,00
Maestro mecánico	1	3,50	40	\$ 140,00
			Subtotal 2	\$ 308,00

Fuente: Autores

6.1.3 Costos de equipos y herramientas.

Tabla 14. Costos de equipos y herramientas

DESCRIPCIÓN	COSTO X HORA [\$]	HORAS EQUIPO	SUBTOTAL [\$]
Soldadora eléctrica	2,95	8	23,6
Taladro manual	0,85	4	3,4
Dobladora de tol	1,35	1	1,35
Otros	1,3	8	10,4
Moladora	1,2	6	7,2
Subtotal 3			45,95

Fuente: Autores

6.1.4 Costo por transporte de materiales. El costo por transporte es de \$ 50.00.

6.1.5 Costo total directo.

Tabla. 15. Total costo directo

DESCRIPCIÓN	PRECIO [\$]
Materiales	1.223,35
Mano de Obra	308,00
Equipos y herramientas	45,95
Software	300,00
Transporte	50,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS	1.927,30

Fuente: Autores

6.2 Costos indirectos

Se toma en cuenta los costos ingenieriles que tienen un agregado de 20% relacionado con la supervisión y diseño del prototipo de Biodigestor.

Tabla 16. Costos indirectos

COSTOS INGENIERILES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO [\$]	PRECIO TOTAL [\$]
Supervisión	16	Hora	15,00	240,00
Diseño	40	Hora	15,00	600,00
			Subtotal	840,00

Fuente: Autores

Tabla 17. Total costos indirectos

COSTOS	PRECIO TOTAL
Ingenieriles	840,00
Utilidad	0,00
Total costo indirecto	840,00

Fuentes: Autores

6.3 Costo total

Es la suma de los costos directos e indirectos incluyen 12% del IVA.

Tabla 18. Costo total

COSTOS DIRECTOS	1.927,30
COSTOS INDIRECTOS	840,00
COSTO TOTAL [\$]	2.767,30

El costo total del prototipo de biodigestor es \$ 2767.30 (DOS MIL SETECIENTOS SESENTA Y SIETE DÓLARES AMERICANOS CON 30/100)

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se elaboró un software para el diseño de biodigestores de flujo continuo de alta eficiencia.

Se diseñó y construyó el prototipo de biodigestor para laboratorio de Térmicas de la Facultad de Mecánica – ESPOCH.

La temperatura de trabajo para el diseño del prototipo es de 35°C.

Después de realizar las pruebas se verificó que 35°C es la temperatura más adecuada para el crecimiento y desarrollo de las bacterias. Disminuyendo el tiempo de retención de la mezcla.

La máxima producción de biogás fue de 260 litros por día.

Se pudo evidenciar que al suspender la agitación y calefacción, la producción de biogás disminuyó más allá del 95%. Lo que implica que para tener una degradación completa de la biomasa se debe aumentar el volumen de la cámara de digestión.

Se comprobó que el biodigestor de alta eficiencia requiere de control de temperatura y agitación, con esto se logró un menor tiempo de retención y menor volumen de la cámara de fermentación.

Se podría trabajar a una temperatura mayor que requieren las bacterias termofílicas pero incrementaría el requerimiento de energía y el costo de operación.

Se estructuró una guía de usuario para la operación y mantenimiento del prototipo.

Se elaboró un manual de uso del software para diseño de biodigestores.

7.2 Recomendaciones

Añadir inóculo rico en bacterias para el arranque del biodigestor con la finalidad de disminuir el tiempo en el que se produce biogás.

Estudiar cuidadosamente la guía de usuario para la operación y mantenimiento del prototipo.

Considerar posibles temas de investigación recomendables para realizar en el prototipo:

- Análisis de los diferentes tipos de biomásas y sus mezclas para la producción de biogás.
- Análisis de los diferentes tipos de biol y mejoramiento de los mismos.
- Diseño de intercambiadores de calor para biodigestores utilizando biogás.
- Mejora de la relación C/N para la producción de biogás.
- Estudios sobre bacterias anaeróbicas.
- Tiempos de retención de acuerdo al tipo de biomasa.

Tomar en cuenta que los resultados que se obtienen del software son referenciales para el diseño.

Considerar que antes de iniciar un proyecto se debe hacer un estudio pormenorizado del lugar donde se va a implementar el biodigestor.

BIBLIOGRAFÍA

AQUALIMPIA. 2013. Aqualimpia. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de 05 de 2013.]

http://www.aqualimpia.com/PDF/BD_Agrosania-c.pdf.

AQUALIMPIA ENGINEERING. 2012. *Agitadores para Digestores tipo Laguna*. Uelzen : s.n., 2012.

GUARDADO, José. 2007. *Diseño y Construcción de plantas de Biogás Sencillas*. La Habana : Cubasolar, 2007.

GUEVARA, Antonio. 2008. *Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales*. Lima : Cepis, 2008.

2003. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. [En línea] 20 de 03 de 2003.

http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf.

HERRERO, Jaime. 2011. *Biodigestores de Bajo Costo, para producir biogás y Fertilizante Natural a partir de Residuos Orgánicos*. Cochabamba : Ideas, 2011.

—. **2008.** *Biodigestores Familiares Guía de Diseño y Manual de Instalación*. Cochabamba : Proagro, 2008.

HILBERT, Jorge. 2009. *Manual para la Producción de Biogás*. Quito : Castelar, 2009.

HOLMAN, Jack. 1998. *Transferencia de Calor*. México D.F. : McGraw-Hill, 1998. 844812040X, 9788448120405.

INCOTEC. 2003. *Formulación de un Programa Básico Normalizado para Aplicaciones de Energías Alternativas y Difusión*. Bogotá : s.n., 2003.

INCROPERA, Frank. 1999. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México DF. : Prentice Hall, 1999.

PÉREZ, Piero. 2007. Creative Commons. [En línea] 06 de 05 de 2007. [Citado el: 27 de 06 de 2013.]

<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC>

sQFjAA&url=http%3A%2F%2Ftesis.pucp.edu.pe%2F repositorio%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F385%2FPEREZ_PIERO_GRUPO_GENERACION_KAPLAN_TUBULAR.pdf%3Fsequence%3D2&ei=kK-OutSlGcm.

SILVA, Juan Pablo. 2002. Tecnología del biogás. [En línea] 11 de 05 de 2002. [Citado el: 25 de 06 de 2013.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>.

TÉLLEZ, Cristian. 2008. *Diseño y Selección de Elementos de una Planta de Biogás Tesis*. Valdivia : Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2008.

VALENZUELA, Ramiro. 2003. *Apuntes de Transferencia de Calor*. Riobamba : Docucentro, 2003.

ANEXOS